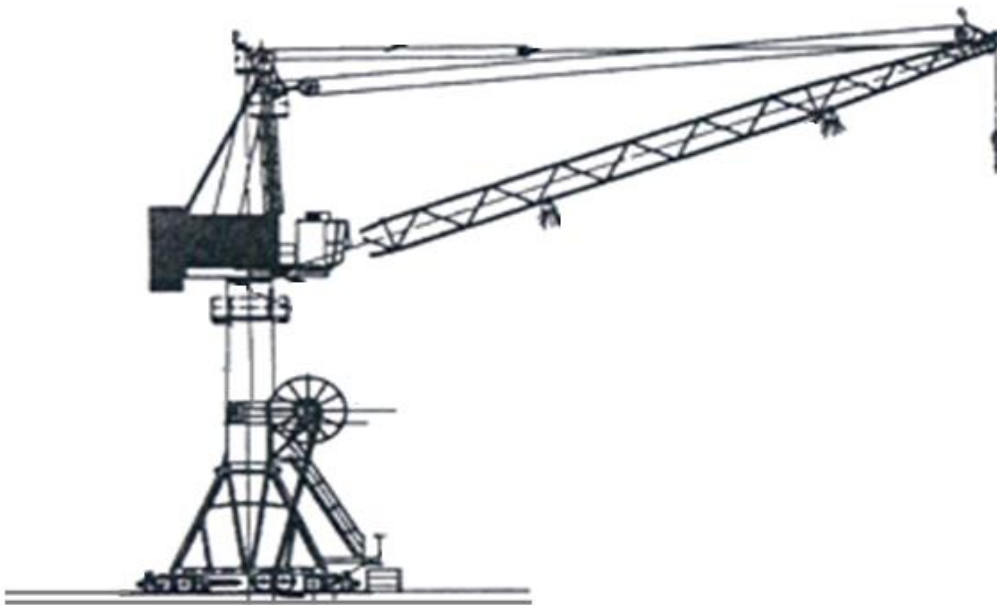


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-Bejaia
Faculté de Technologie
Département de génie électrique

Mémoire de fin de cycle
Pour l'obtention du diplôme de Master 2 en
Electromécanique
Thème

**Etude et dimensionnement d'un variateur de vitesse pour une
grue flottante (7,5t) de l'ERENAV**



Présenté par :

M^f. M'SILI Toufik

Promoteurs :

M^f. A.AMRI

M^f. M.ADLI

Co-promoteur:

M^f. S.BANOUH

Année universitaire : 2013/2014

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH tout puissant pour m'avoir guidé et aidé durant toute ma vie et durant ce travail.

Je tiens aussi à remercier vivement mes deux promoteurs M^f A.AMRI et M^f M.ADLI, pour avoir accepté de mon encadrer ; sans oublier mon Co-promoteur M^f S.BANOUH à ERENAV, pour leurs orientation tout au long de ce travail, pour leurs conseil très précieux, leurs encouragement, leur disponibilité durant la période de mon travail, j'ai été très bénéficié.

J'adresse mes sincères remerciements aux membres du Jury qui ont bien voulu examiner mon travail.

Je tiens également à remercier M^f O.BELKACEMI, les ingénieurs et techniciens d'ERENAV.

Enfin je remercie tous mes amis.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me
soutenir, à ceux qui leur amour m'a donné la volonté d'aller
toujours de l'avant,*

A mes très chers parents, que Dieu les protège

A mes chères frères et sœurs

A ma grande mère

Linda et Ryma

Romaissa

A ma famille et à tous mes amis.

Sommaire

Introduction générale	1
 Chapitre I : Généralités sur les grues flottantes	
I.1 Présentation	2
I.2 Différents types de grues	2
I.2.1 Grue portuaire flottante sur rails	2
I.2.2 Grue portuaire flottante à flèche relevable	2
I.3 Grue portuaire flottante sur rails	3
I.3.1 Description	3
I.3.2 Présentation de la structure de la grue	4
I.3.3 Caractéristiques de la grue	5
I.3.4 Alimentation de la grue	6
 Chapitre II: Etude cinématique et dynamique de la grue	
II.1 Introduction	7
II.2 Dimensionnement de différents moteurs de la grue	7
II.2.1 Moteur pour le mouvement translation	7
II.2.1.1 Dimensionnement du moteur	8
II.2.2 Moteur pour le mouvement de rotation	11
II.2.2.1 Dimensionnement du moteur	12
II.2.3 Moteur pour le mouvement de levage	16
II.2.3.1 Dimensionnement des moteurs	17
II.2.4 Moteur pour le mouvement de relevage	19
II.2.4.1 Dimensionnement des moteurs	20
II.3 Comparaison entre les valeurs des puissances calculées et les valeurs des puissances sur les plaques signalétiques	23
II.4 Conclusion	23
 Chapitre III: Choix des moteurs d'entrainements	
III.1 Introduction	24
III.2 Moteurs électriques	24
III.3 Moteur asynchrone	25
III.3.1 Moteur asynchrone à rotor bobiné	25
III.3.1.1 Description	25
III.3.1.2 Constitution	25

III.3.1.3 Avantages et inconvénients.....	26
III.4 Caractéristiques électromécaniques.....	27
III.4.1 Schéma équivalent	27
III.4.2 Couple d'un moteur	28
III.4.3 Courant de démarrage	29
III.4.4 Stabilité	30
III.5 Réglage continu de la vitesse.....	31
III.5.1 Réglage par variation de fréquence.....	31
III.5.2 Cascade hyposynchrone.....	31
III.6 Conclusion	32

Chapitre IV : Choix des variateurs et leurs commandes

IV.1 Introduction	33
IV.2 Différents modes de réglage de la vitesse	33
IV.2.1 Action sur le glissement	33
IV.2.1.1 Variation de la résistance rotorique par rhéostat de glissement	33
IV.2.1.1.1 Avantages	34
IV.2.1.1.2 Inconvénients.....	34
IV.2.1.2 Cascade hyposynchrone	34
IV.2.1.2.1 Avantages	35
IV.2.1.2.2 Inconvénients.....	35
IV.2.2 Action sur la fréquence.....	35
IV.2.2.1 Cycloconvertisseurs.....	35
IV.2.2.1.1 Avantages	36
IV.2.2.1.2 Inconvénient	36
IV.2.2.2 Variateur doté d'un Onduleur.....	36
IV.2.2.2.1 Montage.....	37
IV.2.2.2.2 Principe.....	37
IV.2.2.2.3 Avantages	39
IV.2.2.2.4 Inconvénients.....	39
IV.3 Commande du variateur	39
IV.3.1 Commande à 120°	39
IV.3.2 Commande à 180°	39
IV.3.3 Commande par modulation de la largeur d'impulsion(MLI)	39
IV.4 Conclusion	40
Conclusion générale.....	41

Références bibliographiques

Liste des tableaux

Figure I.1: Les différents mouvements de la grue.....	3
Figure I.2: Grue portuaire flottante DK150HD.....	4
Figure I.3: Alimentation de la grue	6
Figure II.1: Les boggies supportant la grue.....	7
Figure II.2: Le boggie moteur	8
Figure II.3: Répartition des charges pour la translation	9
Figure II.4: Schéma de calcul pour la translation.....	10
Figure II.5: Mécanisme de rotation	12
Figure II.6: Répartition des charges pour la rotation.....	13
Figure II.7: Schéma de calcul pour la rotation	14
Figure II.8: Mécanisme de levage	16
Figure II.9: Moteur et tambour de levage.....	17
Figure II.10: Mécanisme de relevage	19
Figure II.11: Moteur et tambour de relevage	20
Figure III.1: Le moteur asynchrone à rotor bobiné	25
Figure III.2: Schéma monophasé équivalent d'un moteur asynchrone triphasé	27
Figure III.3: Courbe du couple d'un moteur asynchrone triphasé en fonction de sa vitesse et de son glissement	29
Figure III.4: Caractéristique du couple d'un moteur asynchrone et de couple résistant	30
Figure IV.1: Variation de la résistance rotorique	34
Figure IV.2: Schéma de cascade hyposynchrone	35
Figure IV.3: Schéma de principe de cycloconvertisseurs	36
Figure IV.4: Schéma de principe du convertisseur de fréquence.....	37
Figure IV.5: Schéma de principe de la conversion continu-alternative(DC-AC)	38
Figure IV.6: Courbe du couple en fonction de sa vitesse.....	38

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Comparaison entre les puissances calculées et les puissances sur les plaques signalétiques 23

Tableau III.1 : La comparaison entre le moteur asynchrone triphasé à cage et le moteur asynchrone triphasé à bague 32

Liste des abréviations

- C : Couple électromagnétique en N.m.
- C_a : Couple accélérateur en N.m.
- C_{amoy} : Couple accélérateur moyen en N.m.
- C_d : Couple démarrage en N.m.
- C_{max} : Couple maximal en N.m.
- C_n : Couple nominal en N.m.
- C_r : Couple résistant en N.m.
- D : Diamètre en m.
- f : Fréquence en Hz.
- g : Glissement.
- I_1 : Courant primaire en A.
- I_2 : Courant rotorique en A.
- K_t : Coefficient de température.
- K_{at} : Coefficient d'altitude.
- K_s : Coefficient service.
- L : Inductance en H.
- ℓ : Inductance de fuites en H.
- M : Moteur
- N_s : Vitesse de synchronisme en tr/min.
- N : Vitesse réelle en tr/min.
- P : Puissance active en W.
- p : Nombre de paires de pôles.
- R : Résistance rotorique en Ω .
- R : Réducteur.
- U : Tension compose en V.
- V : Tension simple en V.
- η : Rendement.
- ω_m : Pulsation mécanique en rd/s.
- ω_r : Pulsation des courants induits en rd/s.
- ω_s : Pulsation des courants inducteurs en rd/s.

Introduction générale

Introduction générale

Le rôle des appareils de levage devient de plus en plus important dans toutes les branches de l'industrie moderne. Leur emploi est évidemment indispensable dans les domaines de l'industrie et des chantiers de construction.

Afin de minimiser les dangers qui peuvent engendrer des conséquences graves sur la vie humaines, les appareils de levage, en particulier les grues, doivent être conçues de manière correcte en l'occurrence les progrès réalisés en électronique de puissance, aussi bien au niveau des composants qu'à celui de leurs applications, ont permis un développement très important de la commande des moteurs. De ce fait, on trouve actuellement des variateurs de vitesse pour tous les types de moteurs. Ceci permet, en particulier, d'employer des moteurs asynchrones, moins chères et nécessitant moins d'entretien, dans un certain nombre d'applications où on ne pouvait auparavant utiliser que des moteurs à courant continu.

Cela dit, notre travail consiste en étude et dimensionnement d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone destiné à une grue de levage de type DK 150 HD. Cette grue se trouve à l'ERENAV, elle sert à décharger les différents matériaux nécessaires à l'entreprise.

Pour faire une étude électromécanique de notre système, nous avons divisé notre travail en quatre chapitres :

- L'objet du premier chapitre sera consacré aux généralités sur les grues flottantes et spécification de type à étudier dont on fera une présentation.
- A travers le deuxième chapitre, nous allons décrire les mécanismes assurant tous les mouvements : translation, rotation, levage, relevage; ainsi nous procéderons à une vérification des différents moteurs.
- Dans le troisième chapitre nous nous' intéressons aux comparaisons des différents types des moteurs d'entrainements.
- Et le dernier chapitre, sera le choix des variateurs et leurs commandes.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les grues flottantes

I.1 Présentation

Une grue est un appareil de levage et de manutention utilisé sur les chantiers de construction pour le déplacement des charges lourdes au moyen de câbles, ou éventuellement de chaînes à l'intérieur d'une certaine aire. [1]

Les grues mises sur le marché depuis 1989 doivent respecter les règles de conception issues de la directive machine. Elles doivent donc être porteuses d'un marquage CE. Les grues visées par des normes françaises rendues d'application obligatoire :

- NF E 52-075 : "appareils de levage et de manutention, Grues Généralités", qui définit les différents types d'appareils de levage. [2]
- NF EN 13852-2 Février 2005 : "appareils de levage à charge suspendue-grue flottante". [3]

On définit une grue par : [4]

- ✓ Sa capacité de levage, charge en tonne
- ✓ Sa hauteur de levage définissant l'espace accessible et sa portée

Ces deux points pris séparément ne peuvent réellement définir une grue : il faut au minimum parler de :

1. La charge maximale à portée minimale (exemple : 7.5 t à 8 m).
2. La charge minimale à portée maximale (exemple : 5 t à 30 m).
3. Son type (grue flottante, ou autres).
4. Ses caractéristiques propres :
 - Nature de la propulsion (fixe, sur pneus ou sur rails).
 - Nature de transmission (mécanique, hydraulique).
 - Nature de l'équipement (type de la flèche, etc.).
 - Nature de l'énergie (thermique, électrique).

I.2 Différents types des grues

Nous pouvons distinguer certains types de grues en fonction de la diversité de leur utilisation, aussi en fonction du souci de les dissocier en sous-éléments, et de les assembler en suite suivant nos besoins. [4]

On définit ainsi deux types de grues différents selon leur utilisation :

I.2.1 Grue portuaire flottante sur rails

La grue se caractérise essentiellement par une longue flèche et d'un câble, elle se déplace sur rails (la grue étant équipée de roues). La flèche est faite de treillis. Le câble qui permet de monter et descendre la flèche. Elle est utilisée dans les chantiers navals, elle est capable de soulever jusqu'à 7.5 tonnes. [1]

I.2.2 Grue portuaire flottante à flèche relevable

La grue peut être employée dans les petites et grandes constructions navales, elle est constituée par d'éléments de flèche et de contre-flèche, la grue se déplace grâce aux pneus montés au niveau du portique, elle peut déplacer des charges plus lourdes. [1]

Notre étude sera portée sur une grue de portuaire flottante sur rail.

I.3 Grue portuaire flottante sur rails

I.3.1 Description

1. partie mécanique (ossature)

L'ossature se compose de trois parties principales :

- Portique : c'est un dispositif qui se déplace sur des rails, qui sert à porter la grue, et lui permettre d'effectuer la tâche de translation.
- Mât : il est fixé verticalement, formé en général d'éléments de charpente métallique et de section triangulaire en treillis assemblés par soudures.
- Flèche : c'est un élément de charpente métallique, de section triangulaire et de treillis soudés. Cette structure de base est complétée par un poste de pilotage (cabine en tête tourelle).

2. partie électrique

Nous avons quatre mouvements indépendants qui sont indiqués sur la figure I.1

- Translation : elle est obtenue par deux moteurs asynchrones triphasés à rotor bobinés
- Rotation : elle est obtenue par un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné
- Levage : il est obtenu par un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné
- Relevage : il est obtenu par un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné

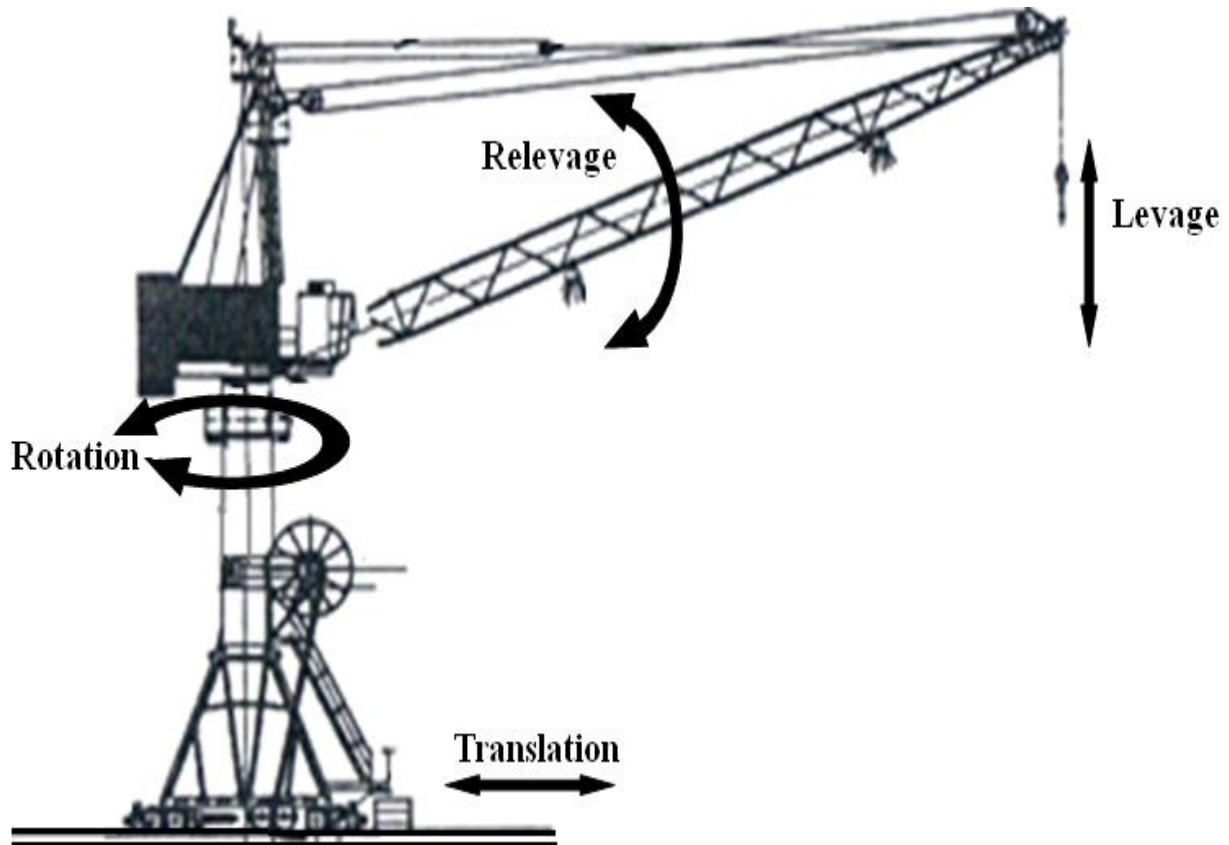


Figure I.1: Les différents mouvements de la grue

I.3.2 Présentation de la structure de la grue

La grue à étudier (Figure I.2) est une grue portuaire flottante à montage par de type DK 150 HD dont la figure suivante illustre ses différents constituants :

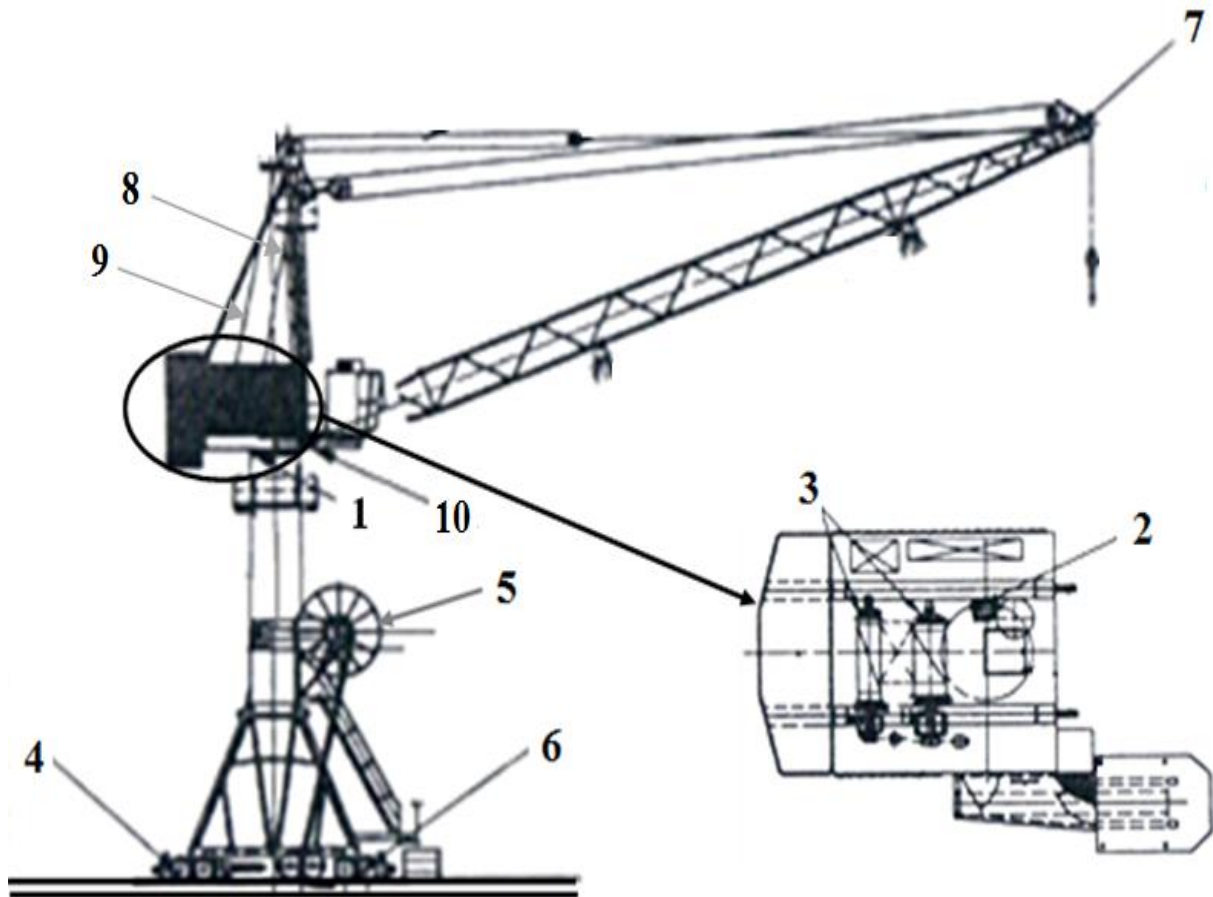


Figure I. 2 : Grue portuaire flottante DK 150 HD

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 : Palier à roulement dans la salle des machines | 5 : Enrouleur de câble électrique |
| 2 : Mécanisme de rotation | 6 : Mécanisme de direction |
| 3 : Tambour | 7 : Poulies |
| Mécanisme de levage | 8 : Câble de levage |
| Mécanisme de relevage | 9 : Câble de relevage |
| 4 : Graissage de roue | 10 : Flèche. [5] |

I.3.3 Caractéristiques de la grue

Les caractéristiques de la grue à étudier sont données comme suit :

-Force portante	7.5 tonnes de 8 à 20 m de portée
	5 tonnes de 8 à 30 m de portée
-Portée maximale	30 m
-Portée minimale	8 m
-Tension	380 v / 50 Hz
-Vitesses de travail :	
-Translation	$v_1 = 20 \text{ m/min}$
-Rotation	$v_2 = 1 \text{ tr/min}$
-Levage	$v_3 = 25 \text{ m/min}$
-Relevage	$v_4 = 25 \text{ m/min}$
-Puissances des moteurs :	
-Mécanisme de translation	$2 \times 7 \text{ KW}$
-Mécanisme de rotation	4 KW
-Mécanisme de levage	35.5 KW
-Mécanisme de relevage	37.5 KW
-Poids :	
-Poids total de la grue	170 tonnes
-Lest central	35 tonnes
-Contre poids	45 tonnes
-Flèche	8 tonnes. [5]

I.3.4 Alimentation de la grue

L'alimentation de la grue est représentée sur la figure suivante :

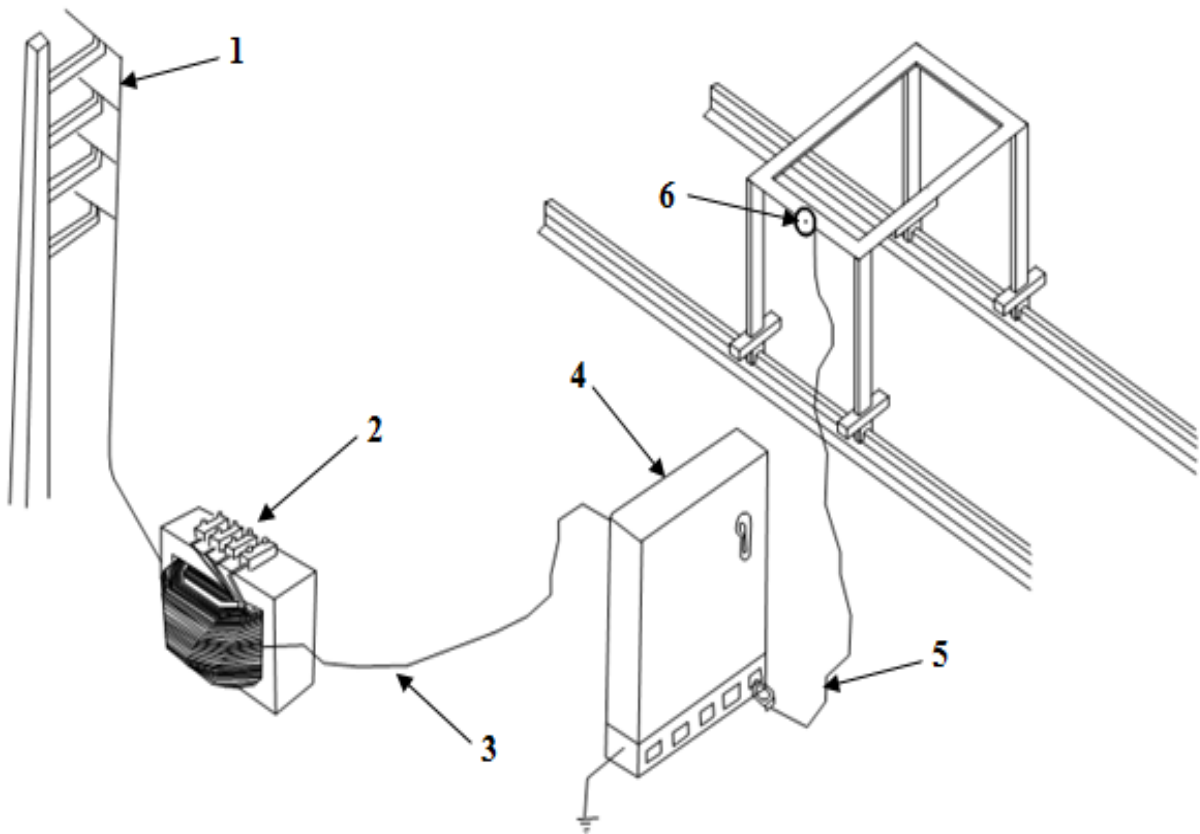


Figure I.3 : Alimentation de la grue

- 1 : Réseau
- 2 : Transformateur
- 3 : Câble d'alimentation du chantier
- 4 : Armoire de chantier avec les disjoncteurs différentiels
- 5 : Câble souple d'alimentation de la grue
- 6 : Enrouleur de câble électrique

Chapitre II

Etude cinématique et dynamique de la grue

II.1 Introduction

Dans ce chapitre on va dimensionner et étudier la partie mécanique de système qui comprend toutes les masses en différents mouvement.

II.2 Dimensionnement de différents moteurs de la grue

II.2.1 Moteur pour le mouvement translation

Le mouvement de translation se fait sur des rails (Figure II.1) ; la grue est posée sur deux boggies moteurs et deux autres qui ne sont pas moteur (fous boggies) montés sur le châssis.

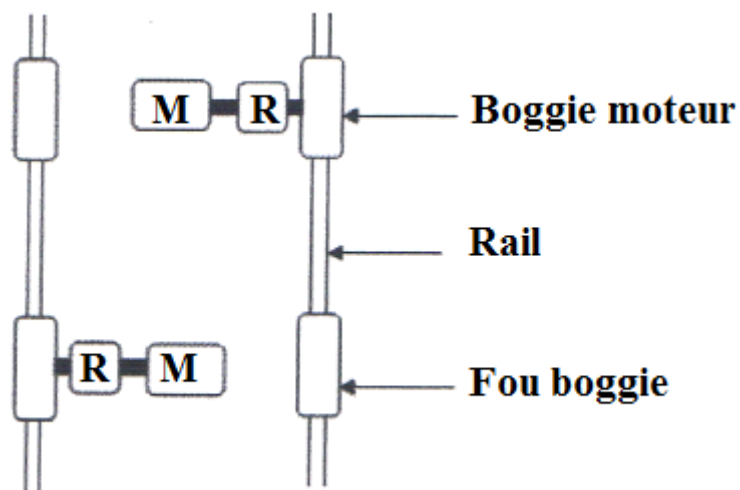


Figure II. 1 : Les boggies supportant la grue [7]

Le boggie

Un boggie moteur (Figure II.2) est constitué :

- Un moteur asynchrone triphasé à bagues (5) à quatre vitesses muni d'une plaque à bornes (3), équipé d'un frein électromagnétique (4). Le frein est provoqué soit par action sur le bouton coupure général de la grue ou automatiquement par l'intermédiaire d'un contact temporisé.
- Un réducteur à trains planétaire (2) avec pignon en prise directe sur la roue motrice (1).
- Un fin course (6).

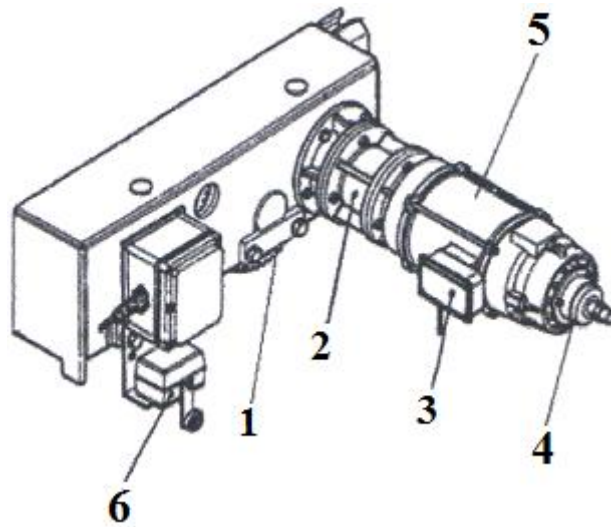


Figure II. 2 : Le bogie moteur [7]

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1 : Roue motrice | 4 : Frein électromagnétique |
| 2 : Réducteur | 5 : Moteur asynchrone |
| 3 : Plaque à bornes | 6 : Fin de course |

II.2.1.1 Dimensionnement du moteur

La translation est assurée par deux moteurs placés dans les deux cotés des rails afin d'éviter le déséquilibre de la grue lors de freinage. Il suffira de dimensionner un seul moteur et la puissance totale sera multipliée par deux.

Pour étudier les efforts mécaniques appliqués sur le système, on adopte le schéma simplifié de la Figure II.3.

Les caractéristiques générales du mécanisme translation sont :

- Le moteur entraîne une roue à travers un réducteur, le mécanisme peut déplacer une masse totale $M = 170000 \text{ kg}$ qui comprend tout l'ensemble de la grue.
- Coefficient de frottement roue /rail (acier/acier) $f = 0.015$
- La vitesse de translation de la grue $V_1 = 20 \text{ m/min} = 0.333 \text{ m/s}$
- Diamètre de la roue $D_1 = 630 \text{ mm}$
- Nombre de moteurs $N_b = 2$ moteurs asynchrones

On va déterminer la puissance du moteur pour cela, on commence par calculer le couple résistant ainsi que la vitesse de rotation des roues.

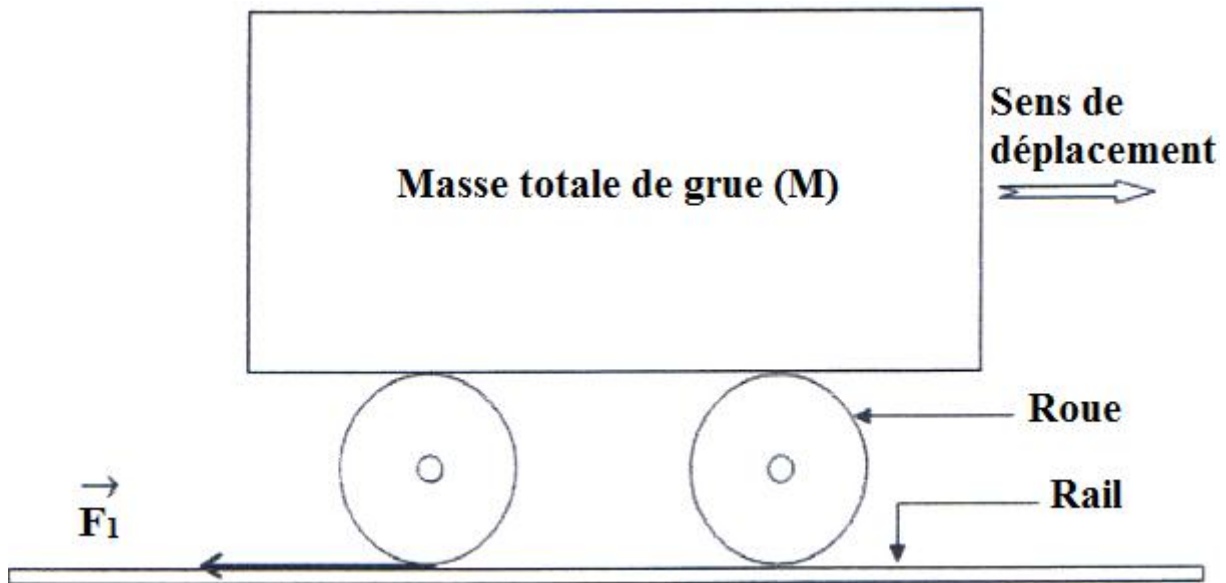


Figure II. 3 : Répartition des charges pour la translation

1. Calcul du couple résistant du mécanisme translation

Pour calculer le couple résistant que doit vaincre chaque moteur on doit diviser notre système en deux parties symétrique de sorte que, les deux moteurs subissent les mêmes contraintes sur chaque coté. Ce qui veut dire que la masse à entrainer est réduite à moitié.

La force de frottement \vec{F}_1 due au contact roue-rail, supportée par un seul moteur est donnée par la relation suivant :

$$F_1 = \frac{M}{2} \times g \times f \quad (\text{II.2.1})$$

Avec g : l'accélération de la pesanteur terrestre (m/s^2)

Applications numérique :

$$F_1 = 85000 \times 9.81 \times 0.015 \Rightarrow F_1 = 12507.750 \text{ N}$$

A partir de cette force, on peut déterminer le couple résistant :

$$C_{r1} = F_1 \times r_1 \Rightarrow C_{r1} = \frac{F_1 \times D_1}{2} \quad (\text{II.2.2})$$

Avec C_{r1} : couple résistant.

r_1 : Rayon de la roue.

$$\text{A.N : } C_{r1} = \frac{12507.750 \times 0.63}{2} \Rightarrow C_{r1} = 3939.941 \text{ N.m}$$

2. Vitesse de rotation de la roue

La vitesse de rotation de la roue est calculée à partir de la vitesse linéaire de la grue

$$V_1 = \omega_1 \times r_1 \Rightarrow \omega_1 = \frac{2 \times V_1}{D_1} \quad (\text{II.2.3})$$

$$\text{A.N : } \omega_1 = \frac{2 \times 0.333}{0.63} \Rightarrow \boxed{\omega_1 = 1.057 \text{ rd/s}}$$

Le réducteur utilisé est constitué de trains planétaires pour éviter l'encombrement ou l'espace qu'il occupe dont le rapport de réduction est $R_1 = 71$ et rendement $\eta = 0.70$

3. calcul de la puissance

La vitesse sur l'arbre du moteur

$$\omega_{m1} = \omega_1 \times R_1 \quad (\text{II.2.4})$$

$$\text{A.N : } \omega_{m1} = 1.057 \times 71 \Rightarrow \boxed{\omega_{m1} = 75.047 \text{ rd/s}}$$

$$\text{Donc : } \boxed{N_1 = 717.009 \text{ tr/min}}$$

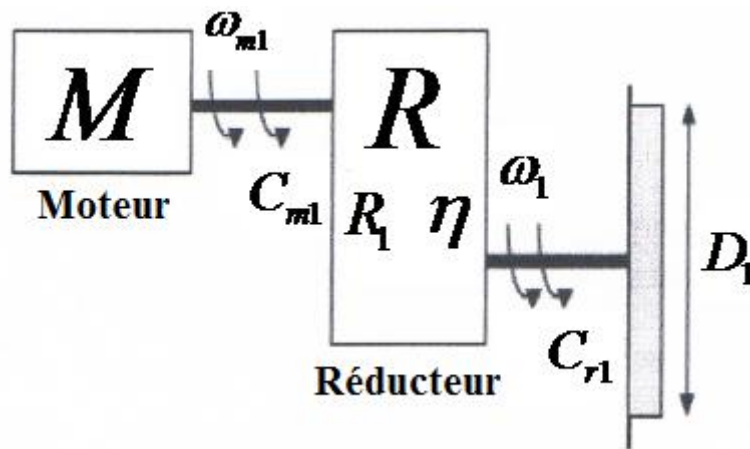


Figure II. 4 : Schéma de calcul pour la translation

La puissance sur l'arbre du moteur est

$$P_{m1} = \frac{P_{r1}}{\eta} = \frac{C_{r1} \times \omega_1}{\eta} \quad (\text{II.2.5})$$

Avec P_{r1} : Puissance résistante

P_{m1} : Puissance mécanique

$$\text{A.N : } P_{m1} = \frac{3939.941 \times 1.057}{0.7} \Rightarrow \boxed{P_{m1} = 5949.310 \text{ W}}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_{m1} = 5.949 \text{ KW}}$$

En pratique, cette grue est installée à Bejaia : les coefficients de correction : Température, Altitude et service sont les suivants : [8]

$$K_t = \frac{100}{140 - ta} \Rightarrow K_t = \frac{100}{140 - 50} = 1.1 \Rightarrow \boxed{K_t = 1.1}$$

Le coefficient d'altitude n'est significatif qu'à partir de 1000 m.

$$K_{at} = \frac{10000}{11000 - at} = 1 \Rightarrow \boxed{K_{at} = 1}$$

$$\boxed{K_s = 1}$$

Avec K_t : Coefficient de température.

K_{at} : Coefficient d'altitude.

K_s : Coefficient de service.

ta : Température ambiante en °C.

at : Altitude en m.

La puissance du moteur est donnée par :

$$P_{mot1} = P_{m1} \times K_t \times K_{at} \times K_s \quad (\text{II.2.6})$$

$$\text{A.N : } P_{mot1} = 5.949 \times 1.1 \times 1 \times 1 \Rightarrow \boxed{P_{mot1} = 6.543 \text{KW}}$$

II.2.2 Moteur pour le mouvement de rotation

La rotation fait tourner l'ensemble de l'équipement de la partie supérieure : tourner la flèche vers la droite ou vers la gauche autour d'un axe verticale, le mécanisme de rotation se situe dans la salle des machines.

Mécanisme de rotation

Ce mouvement est assuré par un mécanisme de rotation (Figure II.5) :

- Un moteur électrique (1) à bagues, tournant à vitesse constante dans le sens choisi.
- Un réducteur (2) à trains planétaires lie par son pignon de sortie à la couronne de rotation.
- Un frein électromagnétique (4) placé sur réducteur.
- Une dynamo tachymétrique (5) permettant de contrôler la vitesse.

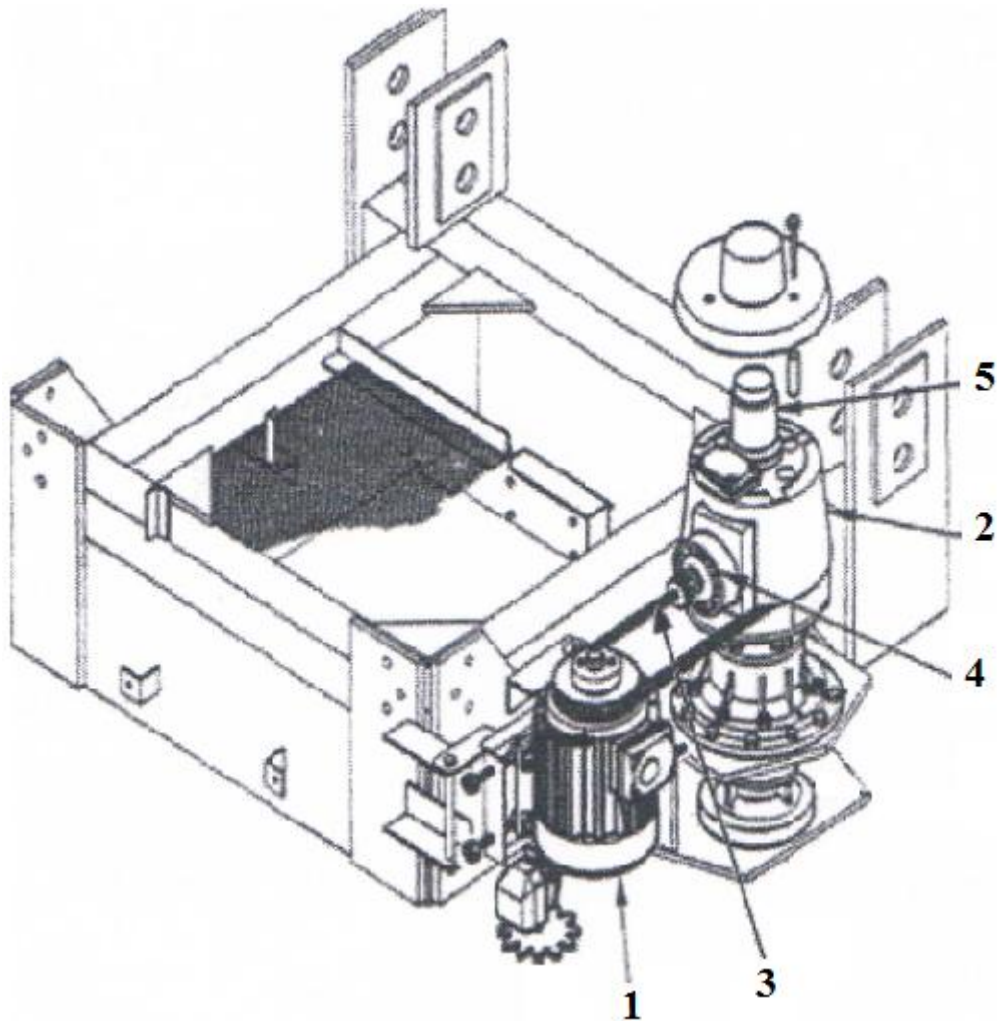


Figure II.5 : Mécanisme de rotation [7]

1 : Moteur asynchrone
2 : Réducteur
3 : Courroies

4 : Frein électromagnétique
5 : Dynamo tachymétrique

II.2.2.1 Dimensionnement du moteur

Le mouvement de rotation est obtenu grâce à un moteur asynchrone à bagues où la transmission se fait par courroies.

Pour étudier les efforts mécaniques appliqués sur le système, on adopte le schéma simple de la figure II 6.

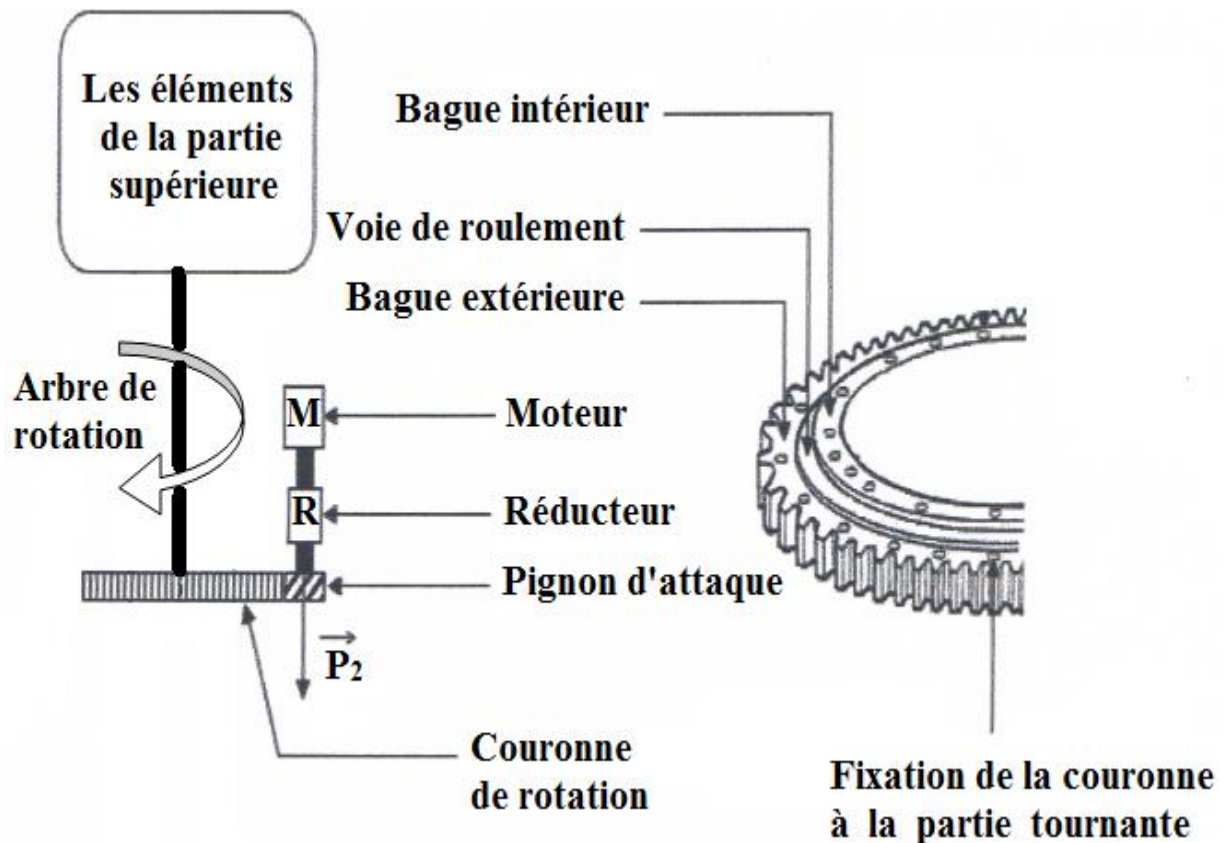


Figure II.6 : Répartition des charges pour la rotation

Les caractéristiques générales du mécanisme de rotation sont :

- le moteur de rotation entraine la couronne à travers de pignon d'attaque qui fait tourner l'ensemble de l'équipement d'une masse total $M = 92000kg$ qui comprend la flèche, le mât, contre poids.
- Coefficient de frottement des butées à billes $f = 0.02$
- La vitesse de rotation de la grue $V_2 = 1tr / min$
- Diamètre de la couronne $D_2 = 1819mm$.
- Nombre de moteurs à installer $N_b = un$ moteur asynchrone.

On va déterminer puissance du moteur pour cela, on commence par calculer le couple résistant ainsi que la vitesse de rotation de la couronne.

1. Calcul du couple résistant du mécanisme de rotation

Pour calculer le couple résistant que doit vaincre le moteur. Une force de frottement \vec{F}_2 due au contact des roulements, qu'on suppose appliquée à l'extrémité de la couronne. Cette force est supportée par le moteur de rotation.

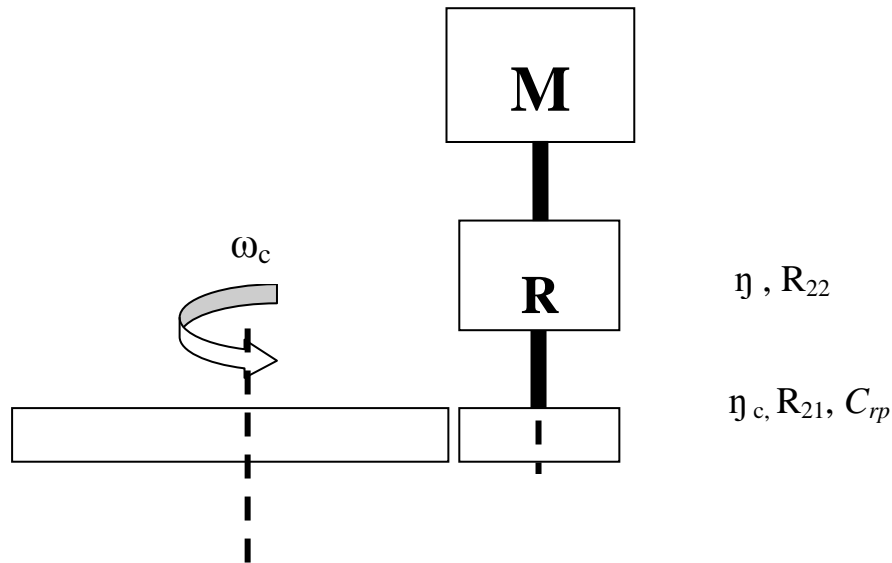


Figure II.7 : Schéma de calcul pour la rotation

$$F_2 = M \times g \times f \quad (\text{II.2.7})$$

$$\text{A.N : } F_2 = 92000 \times 9.81 \times 0.02 \Rightarrow F_2 = 18050.400 \text{ N}$$

A partir de cette force, on peut déterminer le couple résistant :

$$C_{r2} = F_2 \times r_2 \Rightarrow C_{r2} = \frac{F_2 \times D_2}{2} \quad (\text{II.2.8})$$

Avec C_{r2} : Couple résistant.

r_2 : Rayon de la couronne.

$$\text{A.N : } C_{r2} = \frac{18050.400 \times 1.819}{2} \Rightarrow C_{r2} = 16416.838 \text{ N.m}$$

2. Vitesse de rotation de la couronne

La vitesse de rotation de la couronne est donnée par : $N_c = 1 \text{ tr} / \text{min} \Rightarrow \omega_c = 0.104 \text{ rd} / \text{s}$

La couronne à 116 dents et le pignon d'attaque a 16 dents, donc le rapport de réduction R_{21} :
 $R_{21} = 7.25$ et un rendement $\eta_c = 0.7$

La vitesse de pignon d'attaque est

$$\omega_2 = \omega_c \times R_{21} \quad (\text{II.2.9})$$

$$\text{A.N : } \omega_2 = 0.104 \times 7.25 \Rightarrow \omega_2 = 0.754 \text{ rd} / \text{s}$$

Le réducteur utilisé est constitué de trains planétaire dont le rapport de réduction est
 $R_{22} = 110$ et un rendement de $\eta = 0.7$

3. calcul de la puissance

La vitesse sur l'arbre du moteur

$$\omega_{m2} = \omega_2 \times R_{22} \quad (\text{II.2.10})$$

$$\text{A.N : } \omega_{m2} = 0.754 \times 110 \Rightarrow \omega_{m2} = 82.940 \text{rd / s}$$

$$\Rightarrow N_2 = 792.420 \text{tr / min}$$

Calcul de couple résistant sur le pignon d'attaque

$$P_p = \frac{P_c}{\eta_c} \Rightarrow C_{rp} = \frac{C_{r2} \times \omega_c}{\eta_c \times \omega_2} \quad (\text{II.2.11})$$

Avec P_c : Puissance de couronne

P_p : Puissance sur le pignon d'attaque

$$\text{A.N : } C_{rp} = \frac{16416.838 \times 0.104}{0.7 \times 0.754} \Rightarrow C_{rp} = 3234.844 \text{N.m}$$

La puissance sur l'arbre du moteur est donnée par :

$$P_{m2} = \frac{P_p}{\eta} = \frac{C_{rp} \times \omega_2}{\eta} \quad (\text{II.2.12})$$

Avec P_p : Puissance sur le pignon d'attaque

P_{m2} : Puissance mécanique

$$\text{A.N : } P_{m2} = \frac{3234.844 \times 0.754}{0.7} \Rightarrow P_{m2} = 3484.389 \text{W}$$

$$\Rightarrow P_{m2} = 3.484 \text{KW}$$

En pratique, cette grue est installée à Bejaia : les coefficients de correction : Température, Altitude et service sont les suivants : [8]

$$K_t = \frac{100}{140 - ta} \Rightarrow K_t = \frac{100}{140 - 50} = 1.1 \Rightarrow K_t = 1.1$$

Le coefficient d'altitude n'est significatif qu'à partir de 1000 m.

$$K_{at} = \frac{10000}{11000 - at} = 1 \Rightarrow K_{at} = 1$$

$$K_s = 1$$

Avec K_t : Coefficient de température.

K_{at} : Coefficient d'altitude.

K_s : Coefficient de service.

ta : Température ambiante en °C.

at : Altitude en m..

La puissance du moteur est

$$P_{mot2} = P_{m2} \times K_t \times K_{at} \times K_s \quad (II.2.13)$$

A.N : $P_{mot2} = 3.484 \times 1.1 \times 1 \times 1 \Rightarrow P_{mot2} = 3.832 \text{KW}$

II.2.3 Moteur pour le mouvement de levage

Le système étudié est utilisé pour soulever une charge à une hauteur donnée, en milieu industriel. Un motoréducteur, alimenté en énergie électrique entraîne en rotation un treuil, sur lequel vient s'enrouler un câble, permettant de lever la charge par un système de poulies.

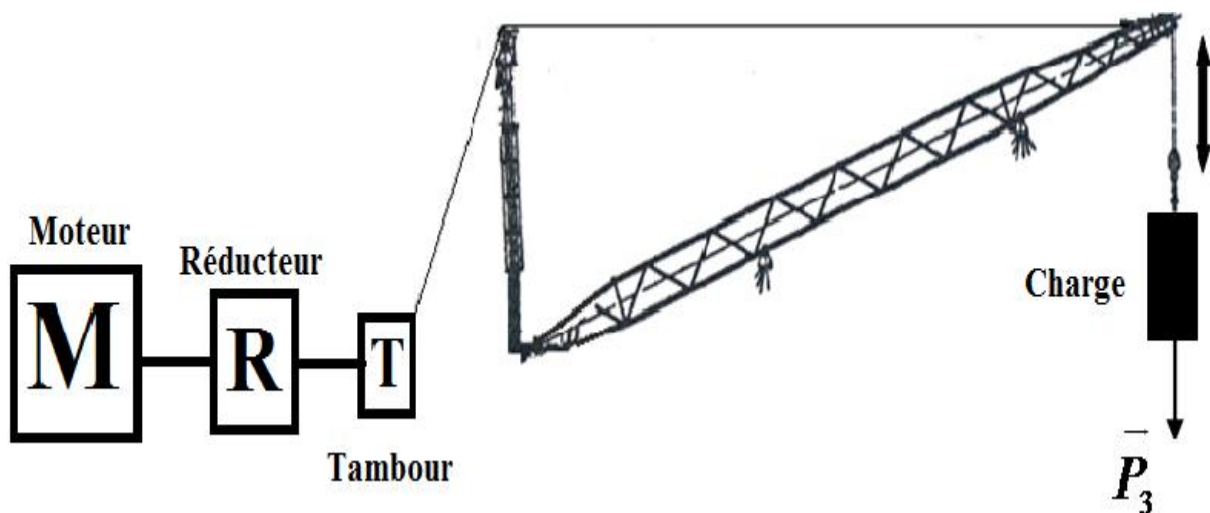


Figure II. 8 : Mécanisme de levage

Treuil de levage [6]

Le treuil de levage (figure II. 9) est constitué de :

- Un moteur à bagues (1) équipé d'un frein électromagnétique (2).
- D'un réducteur (3) constitué d'un engrenage conique à dentures hélicoïdale.
- D'un tambour (4) entraîné directement par l'arbre de sortie du réducteur. L'ensemble repose sur un palier.
- Un fin de course (5) entraîné en rotation par l'arbre du tambour de levage.
- Un coffret de résistances et une armoire électrique.

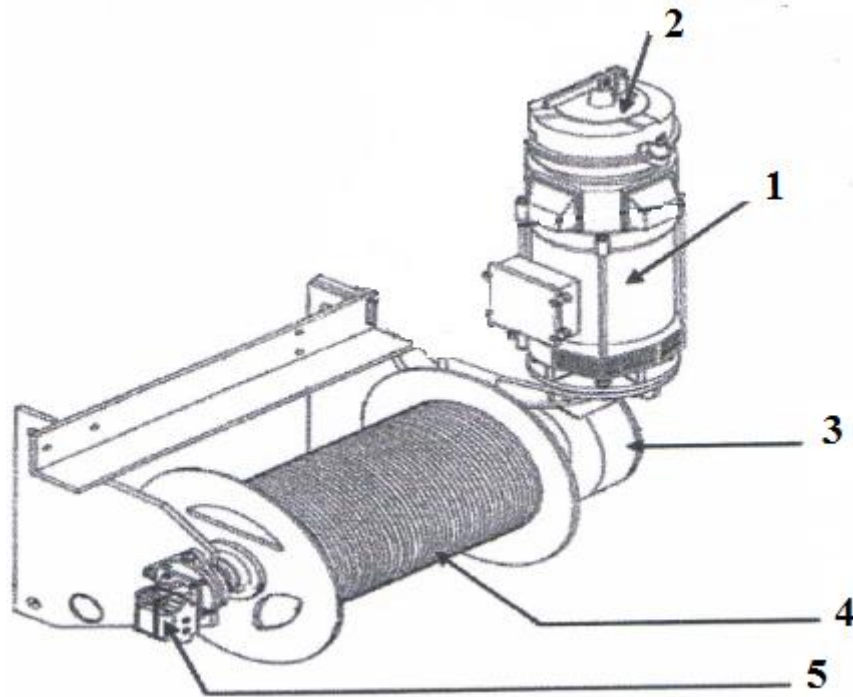


Figure II .9 : Moteur et tambour de levage [7]

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| 1 : Moteur asynchrone | 4 : Tambour |
| 2 : Frein électromagnétique | 5 : Fin de course |
| 3 : Réducteur | |

II .2.3.1 Dimensionnement des moteurs

Le mouvement de levage se fait à l'aide d'un moteur asynchrone à bagues (figure II.9).

Les caractéristiques générales du mécanisme de levage sont :

- Le moteur de levage entraîne le tambour à travers son pignon d'attaque, et par l'intermédiaire des poulies vers le haut ou vers le bas, la masse maximale est $M = 7550kg$ qui comprend la charge, le crochet, et les câbles.
- La vitesse de levage est $v_3 = 25m / \text{min} = 0.416m / s$
- Diamètre de tambour $D_3 = 560mm$
- Nombre de moteur à installer $N_b =$ un moteur asynchrone

On va déterminer puissance du moteur pour cela, on commence par calculer le couple résistant ainsi que la vitesse de rotation de tambour.

1. calcul du couple résistant de mécanisme de levage

Le calcul de couple résistant que doit vaincre le moteur se calcul comme suit :

$$P_3 = M \times g \quad (\text{II.2.14})$$

$$\text{A.N : } P_3 = 7550 \times 9.81 \Rightarrow P_3 = 74065.500N$$

A partir de cette force, on détermine le couple résistant :

$$C_{r3} = P_3 \times r_3 \Rightarrow C_{r3} = \frac{P_3 \times D_3}{2} \quad (\text{II.2.15})$$

Avec C_{r3} : couple résistant

r_3 : rayon de tambour

$$\text{A.N : } C_{r3} = \frac{74065.5 \times 0.560}{2} \Rightarrow C_{r3} = 20738.340N.m$$

2. Vitesse de rotation du tambour

La vitesse de rotation du tambour est donnée par :

$$v_3 = \omega_3 \times r_3 \Rightarrow \omega_3 = \frac{2 \times v_3}{D_3} \quad (\text{II.2.16})$$

$$\text{A.N : } \omega_3 = \frac{2 \times 0.416}{0.560} \Rightarrow \omega_3 = 1.485rd / s$$

Le réducteur utilisé est constitué d'un engrenage conique à dentures hélicoïdale, le rapport de réduction est $R_3 = 40$ et un rendement $\eta = 0.96$

3. Calcul la puissance

La vitesse sur l'arbre du moteur

$$\omega_{m3} = \omega_3 \times R_3 \quad (\text{II.2.17})$$

A.N :

$$\omega_{m3} = 1.485 \times 40 \Rightarrow \omega_{m3} = 59.400rd / s$$

$$\text{Donc : } N_3 = 567.515tr / \text{min}$$

La puissance sur l'arbre du moteur est

$$P_{m3} = \frac{P_{r3}}{\eta} = \frac{C_{r3} \times \omega_3}{\eta} \quad (\text{II.2.18})$$

Avec P_{r3} : Puissance résistante

P_{m3} : Puissance mécanique

$$A.N : P_{m3} = \frac{20738.34 \times 1.485}{0.96} \Rightarrow P_{m3} = 32079.619W$$

$$\Rightarrow P_{m3} = 32.079KW$$

En pratique, cette grue est installée à Bejaia : les coefficients de correction : Température, Altitude et service sont les suivants : [8]

$$K_t = \frac{100}{140 - ta} \Rightarrow K_t = \frac{100}{140 - 50} = 1.1 \Rightarrow K_t = 1.1$$

Le coefficient d'altitude n'est significatif qu'à partir de 1000 m.

$$K_{at} = \frac{10000}{11000 - at} = 1 \Rightarrow K_{at} = 1$$

$$K_s = 1$$

Avec K_t : Coefficient de température.

K_{at} : Coefficient d'altitude.

K_s : Coefficient de service.

ta : Température ambiante en °C.

at : Altitude en m.

La puissance du moteur est

$$P_{mot3} = P_{m3} \times K_t \times K_{at} \times K_s \tag{II.2.19}$$

$$A.N : P_{mot3} = 32.079 \times 1.1 \times 1 \times 1 \Rightarrow P_{mot3} = 35.286KW$$

II.2.4 Moteur pour le mouvement de relevage

Le système étudié est utilisé pour soulever la flèche à une hauteur donnée. Un motoréducteur, alimenté en énergie électrique entraîne en rotation un treuil, sur lequel vient s'enrouler un câble, permettant de lever la flèche par un système de poulies.

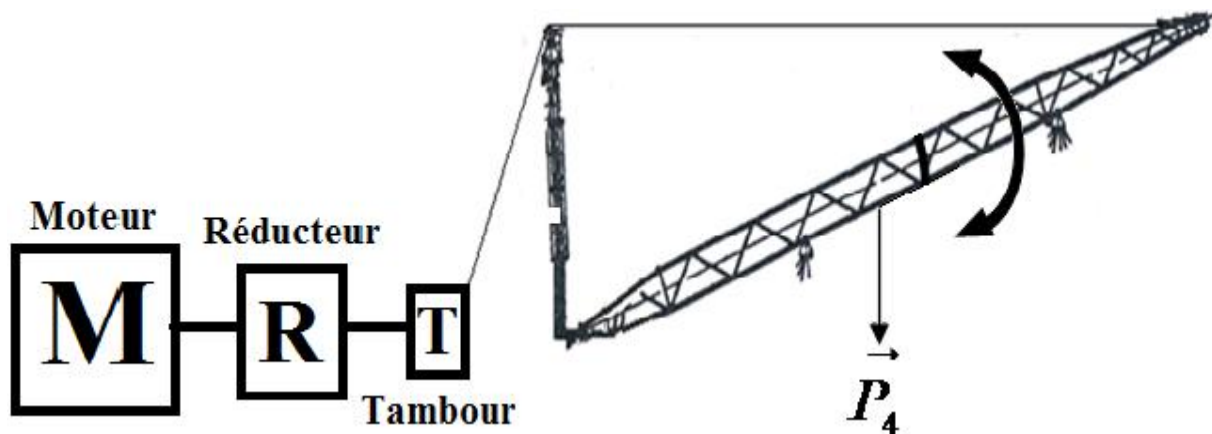


Figure II. 10 : Mécanisme le relevage

Treuil de relevage [6]

Le treuil de relevage (figure II.11) est constitué de :

- Un moteur à bagues (1) équipé d'un frein électromagnétique (2).
- D'un réducteur (3) constitué d'un engrenage conique à dentures hélicoïdale.
- D'un tambour (4) entraîné directement par l'arbre de sortie du réducteur. L'ensemble repose sur un palier.
- Un fin de course (5) entraîné en rotation par l'arbre du tambour de relevage.
- Un coffret de résistances et une armoire électrique.

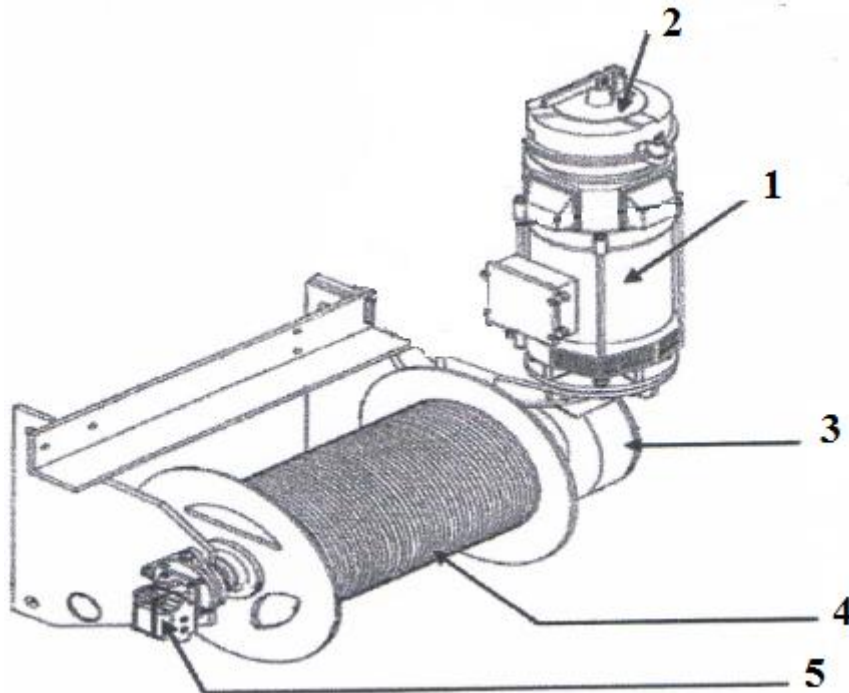


Figure II .11 : Moteur et tambour de relevage [7]

- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| 1 : Moteur asynchrone | 4 : Tambour |
| 2 : Frein électromagnétique | 5 : Fin de course |
| 3 : Réducteur | |

II .2.4.1 Dimensionnement des moteurs

Le mouvement de relevage se fait à l'aide d'un moteur asynchrone à bagues (figure II.11).

Les caractéristiques générales du mécanisme de relevage sont :

- Le moteur de relevage entraîne le tambour à travers son pignon d'attaque, et par l'intermédiaire des poulies vers le haut ou vers le bas, la masse maximale est $M = 8050kg$ qui comprend les câbles et la flèche.

La vitesse de relevage est $v_4 = 25m / \text{min} = 0.416m / s$.

- Diamètre de tambour $D_4 = 400mm$.
- Nombre de moteur à installer $N_b =$ un moteur asynchrone.

On va déterminer puissance du moteur pour cela, on commence par calculer le couple résistant ainsi que la vitesse de rotation de tambour.

1. Calcul du couple résistant de mécanisme de relevage

Le calcul de couple résistant que doit vaincre le moteur se calcule comme suit :

$$P_4 = M \times g \quad (\text{II.2.20})$$

$$\text{A.N : } P_4 = 8050 \times 9.81 \Rightarrow \boxed{P_4 = 78970.5N}$$

A partir de cette force, on détermine le couple résistant :

$$C_{r4} = P_4 \times r_4 \Rightarrow C_{r4} = \frac{P_4 \times D_4}{2} \quad (\text{II.2.21})$$

Avec C_{r4} : Couple résistant.

r_4 : Rayon de tambour.

$$\text{A.N : } C_{r4} = \frac{78970.5 \times 0.400}{2} \Rightarrow \boxed{C_{r4} = 15794.100N.m}$$

2. Vitesse de rotation du tambour

On a la vitesse de rotation du tambour est

$$v_4 = \omega_4 \times r_4 \Rightarrow \omega_4 = \frac{2 \times v_4}{D_4} \quad (\text{II.2.22})$$

$$\text{A.N : } \omega_4 = \frac{2 \times 0.416}{0.400} \Rightarrow \boxed{\omega_4 = 2.080rd / s}$$

Le réducteur utilisé est constitué d'un engrenage conique à dentures hélicoïdale, le rapport de réduction est $R_4 = 101$ et un rendement $\eta = 0.97$

3. Calcul la puissance

La vitesse sur l'arbre du moteur

$$\omega_{m4} = \omega_4 \times R_4 \quad (\text{II.2.23})$$

$$\omega_{m4} = 2.080 \times 101 \Rightarrow \boxed{\omega_{m4} = 210.080rd / s}$$

$$\text{Donc : } \boxed{N_4 = 2007.133tr / min}$$

La puissance sur l'arbre du moteur est :

$$P_{m4} = \frac{P_{r4}}{\eta} = \frac{C_{r4} \times \omega_4}{\eta} \quad (\text{II.2.24})$$

Avec P_{r4} : Puissance résistante

P_{m4} : Puissance mécanique

$$\text{A.N : } P_{m4} = \frac{15794.1 \times 2.08}{0.97} \Rightarrow P_{m4} = 33867.760W$$

$$\Rightarrow P_{m4} = 33.867KW$$

En pratique, cette grue est installée à Bejaia : les coefficients de correction : Température, Altitude et service sont les suivants : [8]

$$K_t = \frac{100}{140 - ta} \Rightarrow K_t = \frac{100}{140 - 50} = 1.1 \Rightarrow K_t = 1.1$$

Le coefficient d'altitude n'est significatif qu'à partir de 1000 m.

$$K_{at} = \frac{10000}{11000 - at} = 1 \Rightarrow K_{at} = 1$$

$$K_s = 1$$

Avec K_t : Coefficient de température.

K_{at} : Coefficient d'altitude.

K_s : Coefficient de service.

ta : Température ambiante en °C.

at : Altitude en m.

La puissance du moteur est

$$P_{mot4} = P_{m4} \times K_t \times K_{at} \times K_s \quad (\text{II.2.25})$$

$$\text{A.N : } P_{mot4} = 33.867 \times 1.1 \times 1 \times 1 \Rightarrow P_{mot4} = 37.253KW$$

II.3 Comparaison entre les valeurs des puissances calculées et les valeurs des puissances sur les plaques signalétiques

	Les puissances calculées	Les puissances sur les plaques signalétiques
Le moteur de translation	6.543KW	7KW
Le moteur de rotation	3.832KW	4KW
Le moteur de levage	35.286KW	35.5KW
Le moteur de relevage	37.253KW	37.5KW

Tableau II.1 : Comparaison entre les puissances calculées et les puissances sur les plaques signalétiques

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le dimensionnement des différents moteurs de la grue, dont on a trouvé que les valeurs des puissances sont approximativement égales aux valeurs relevées sur la plaque signalétique, en l'occurrence on conclue que la méthode de calcul faite dans ce chapitre est faible.

Chapitre III

Choix des moteurs d'entrainements

III.1 Introduction

Dans cette partie on va s'intéresser aux comparaisons des différents types des moteurs d'entrainements :

Le moteur est un organe qui transforme en travail mécanique une source d'énergie qui lui est fournie.

- Il est dit 'moteur électrique' si la source d'énergie est électricité.

III.2 Moteurs électriques

Les moteurs électriques sont des récepteurs d'énergie électrique les plus répandu dans l'industrie, leur vocation consiste à convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. On cite dans ce qui suit les différents types des moteurs. [9]

1. Moteur à courant continu

Le moteur à courant continu n'est plus beaucoup utilisé dans les applications nouvelles, mais on la rencontre encore dans les installations existantes. Ce moteur présent en effet de nombreux inconvénients, avec en particulier son cout élevé et la maintenance nécessaire à cause des balais frottant sur le collecteur. [10]

2. Moteur synchrone

Le moteur synchrone est surtout utilisé en générateur (l'alternateur). Depuis longtemps, les moteurs synchrones sont utilisés dans des applications de forte puissance à vitesse fixe, Mais le développement dans le domaine de l'alimentation et de la commande leur permettent aujourd'hui d'être présents en vitesse variable. [10]

3. Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone constitue la grande majorité des moteurs industriels, mais la machine asynchrone sert également de générateur dans quelques applications particulières. [10]

Les moteurs asynchrones triphasés sont des machines électriques extrêmement robustes, qui ne demandent que très peu d'entretien et sont fréquemment utilisées dans le secteur industriel.

Grâce à l'évolution de l'électronique de puissance, qui utilisaient hier des moteurs à courant continu ou encore des moteurs synchrones, emploient aujourd'hui un moteur asynchrone associé à un variateur de vitesse.

III.3 Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est un moteur à courant alternatif pour lequel la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. Le moteur qui nous intéresse dans ce chapitre est plus précisément un moteur asynchrone à rotor bobiné. il existe d'autres types de moteurs asynchrones, les moteurs asynchrones à cage. [10]

III.3.1 Moteur asynchrone à rotor bobiné

III.3.1.1 Description [9]

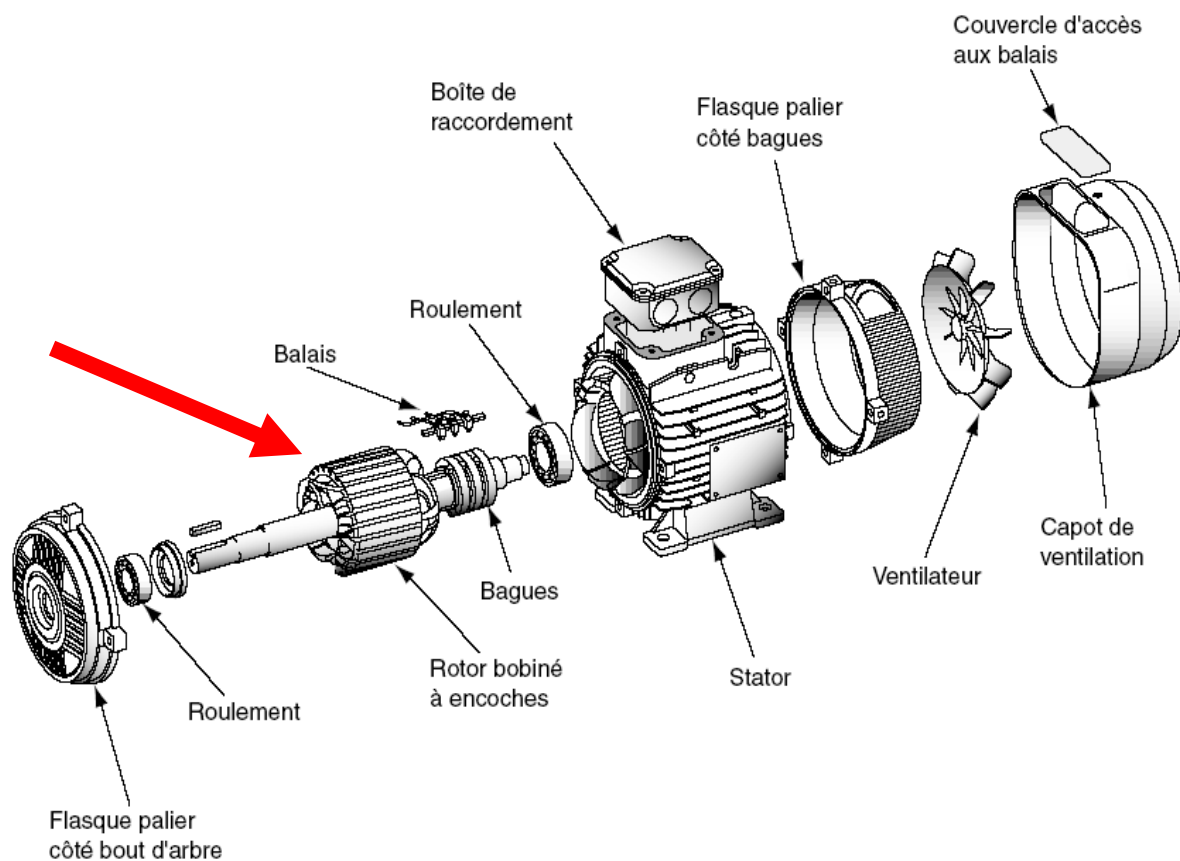


Figure III.1 : Le moteur asynchrone à rotor bobiné

III.3.1.2 Constitution

- **Stator**

Le stator comporte une carcasse en fonte ou en tôle, d'acier dans laquelle est inséré un circuit magnétique. Le stator d'une machine asynchrone triphasée porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches du circuit magnétique. Il est généralement couplé en étoile.[10]

- **Rotor bobiné**

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique sur l'arbre de la machine. Les encoches sont théoriquement parallèles à l'axe du moteur, mais, en fait, légèrement inclinées par rapport à cet axe de façon à réduire certaines pertes dues aux harmoniques. Le bobinage rotorique est toujours couplé en étoile. Les extrémités de l'enroulement rotorique sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaires qui permettent des réglages, par exemple de couple ou de vitesse. [10]

III.3.1.3 Avantages et inconvénients

- **Avantages**

Le moteur à bagues présente de nombreux avantages :

- Robuste ;
- Entretien réduit ;
- Au démarrage on a la possibilité d'insérer un rhéostat dans le rotor, cela permet à diminuer le courant de démarrage ;
- On peut agir sur les grandeurs rotoriques. [10]

- **Inconvénients**

- Le coût est élevé. [10]

III.4 Caractéristiques électromécaniques

Les caractéristiques électromécaniques du moteur asynchrone triphasé :

Pour caractériser la vitesse du rotor, on définit le glissement g , qui est l'écart relatif entre la vitesse de synchronisme N_s et sa vitesse réelle N soit :

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{\omega_s - p \times \omega_m}{\omega_s} \tag{III.4.1}$$

Et, on a :

$$\begin{aligned} \omega_m &= \frac{2 \times \pi \times N}{60} \\ \omega_s &= 2 \times \pi \times f \\ \omega_r &= \omega_s - p \times \omega_m = g \times \omega_s \end{aligned}$$

Avec

- f Fréquence du réseau,
- p Nombre de paires de pôles,
- ω_m Pulsation mécanique,
- ω_r Pulsation des courants induits,
- ω_s Pulsation des courants inducteurs.

Les vitesses N et N_s sont exprimées en tours par minute et ω_m et ω_s en radians par seconde.[11]

III.4.1 Schéma équivalent

Le schéma monophasé équivalent de la figure III.2, montre que le moteur asynchrone est assimilé à un transformateur statique dont le secondaire serait fermé sur une résistance $\frac{R}{g}$ inversement proportionnelle au glissement.

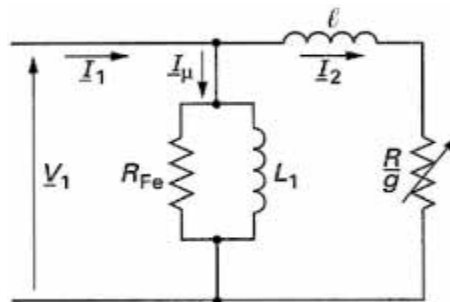


Figure III.2 : Schéma monophasé équivalent d'un moteur asynchrone triphasé

- I_1 est le courant primaire,
 I_2 est le courant rotorique ramené au stator,
 L_1 est l'inductance cyclique d'une phase statorique,
 ℓ est l'inductance de fuites totales ramenée au stator,
 R est la résistance du rotor ramenée au stator,
 R_{Fe} est une résistance qui représente les pertes fer,
 V_1 est la tension étoilée au primaire.

Remarque : les pertes magnétiques du moteur, représentées figure III.2, sont faibles (1 à 3 %). Elles ont globalement peu d'effet sur les caractéristiques du moteur. On n'en tient pas compte dans les équations (III.4.2). [11]

On peut considérer que le courant : $I_\mu = I_1 - I_2$

L'intérêt fondamental du schéma monophasé de la figure III.2, qui nous rappelons, ne tient pas compte de la saturation et des pertes Joule au stator, nous permet de déterminer les caractéristiques de fonctionnement d'un moteur asynchrone. En particulier, on en déduit :

- La puissance active P_2 fournie au rotor :

$$P_2 = \frac{R \times g}{R^2 + (\ell^2 \times \omega_s^2 \times g^2)} \times U_1^2 \quad (\text{III.4.2})$$

- Le couple électromagnétique :

$$C = P_2 \times \frac{P}{\omega_s} = \frac{P}{\omega_s} \times \frac{R \times g}{R^2 + (\ell^2 \times \omega_s^2 \times g^2)} \times U_1^2 \quad (\text{III.4.3})$$

En introduisant la tension composée $U_1 = V_1 \times \sqrt{3}$

III.4.2 Couple d'un moteur

La courbe du couple d'un moteur asynchrone en fonction de sa vitesse a l'allure tracée sur la figure III.3 : elle croît, d'abord, de manière sensiblement hyperbolique à partir de l'arrêt (glissement égal à 1), où le couple de démarrage à vitesse nulle :

- Le couple de démarrage C_d :

$$C_d = \frac{P}{\omega_s} \times \frac{R}{R^2 + (\ell^2 \times \omega_s^2)} \times U_1^2 \quad (\text{III.4.4})$$

-Il passe par un maximum :

$$C_{\max} = \frac{P}{\omega_s} \times \frac{U_1^2}{(2 \times \ell \times \omega_s)} \tag{III.4.5}$$

Pour une vitesse correspondant au glissement :

$$g_{\max} = \frac{R}{(\ell \times \omega_s)} \tag{III.4.6}$$

- puis, il décroît pour atteindre, de façon presque linéaire, une valeur nulle à la vitesse du synchronisme ($g = 0$). [11]

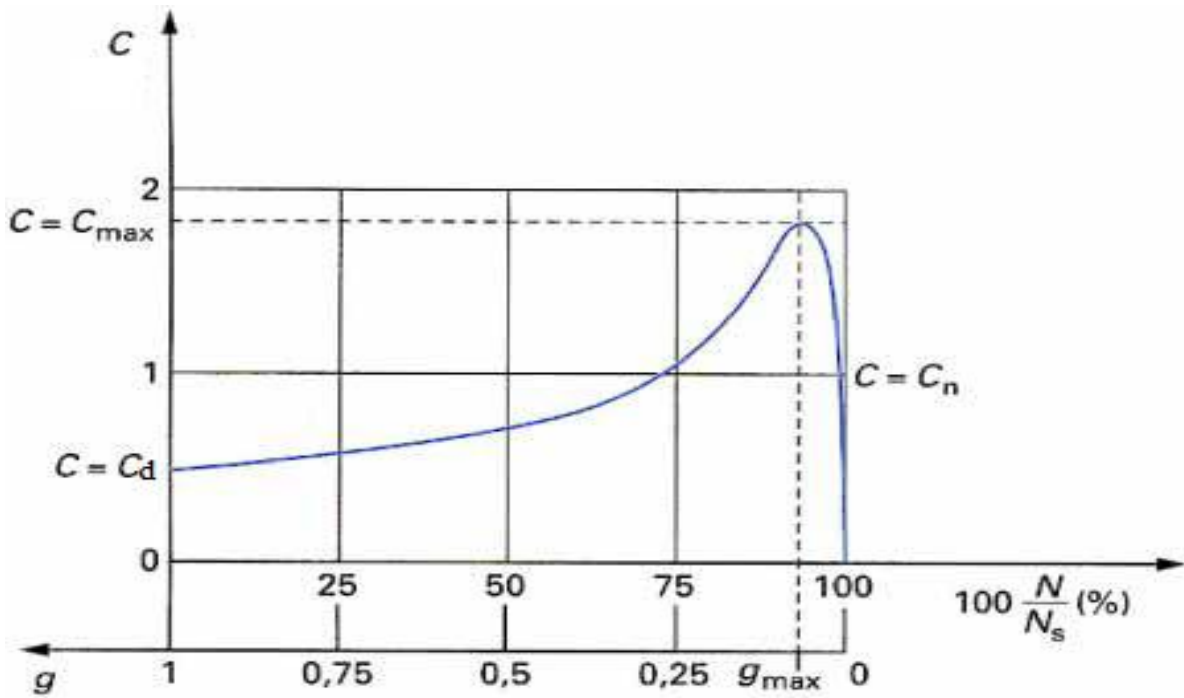


Figure III.3 : Courbe du couple d'un moteur asynchrone triphasé en fonction de sa vitesse et de son glissement

III.4.3 Courant de démarrage

Au décollage d'un moteur, c'est-à-dire au tout premier instant de son démarrage, la force contre-électromotrice qui s'oppose à la tension appliquée à la machine est nulle, il apparaît donc un courant I_1 élevé. Dans le cas du moteur asynchrone, ce courant est de l'ordre de 5 à plus de 10 fois le courant nominal I_n , ce qui crée à la fois une contrainte pour le moteur lui-même et une gêne pour le réseau, en l'occurrence on remédie a ce problème par les différents modes de démarrages. [11]

III.4.4 Stabilité

Le régime permanent de fonctionnement d'un moteur est obtenu, à l'égalité entre son couple d'entraînement C et le couple résistant C_r . La stabilité dépend de l'allure des caractéristiques motrices et résistantes.

La courbe du couple C d'un moteur asynchrone en fonction de son glissement g (figure III.4). - Supposons, que le couple résistant C_r soit indépendant de la vitesse. L'intersection des deux caractéristiques C et C_r donne deux points A et B , mais seul le point A correspond à un fonctionnement stable. La condition de stabilité s'écrit :

$$\frac{dC - dC_r}{dg} > 0 \tag{III.4.7}$$

Ce qui signifie que la pente de la caractéristique $C = f(g)$ doit être supérieure à celle de la caractéristique $C_r = f(g)$.

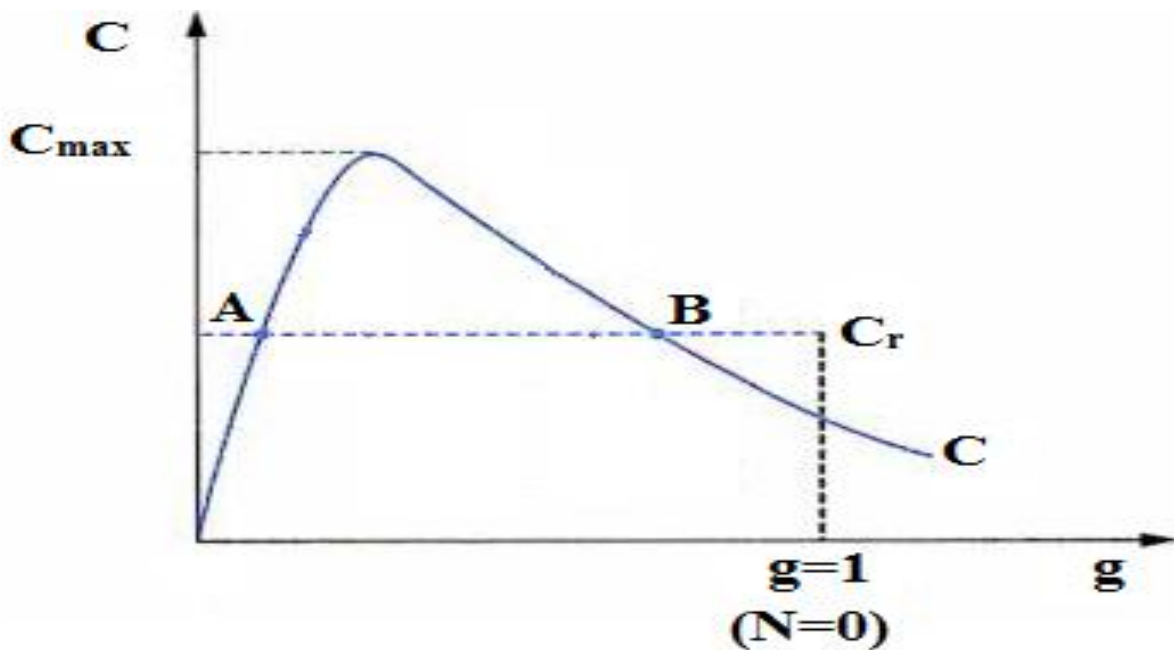


Figure III.4 : Caractéristique du couple d'un moteur asynchrone et de couple résistant

C_r Couple résistant indépendante de la vitesse

Pour démarrer le moteur il faut, que le couple moteur supérieur au couple résistant

- Le couple accélérateur :

$$C_a = C - C_r = J \times \frac{d\omega_m}{dt} \quad (\text{III.4.8})$$

J moment d'inertie global des masses en mouvement

Un couple accélérateur moyen C_{amoy} (exprimé en $N \cdot m$) en déterminant, par intégration, l'aire comprise entre les deux courbes C et C_r . [11]

- La durée de démarrage t_d (exprimée en secondes), elle s'écrit :

$$t_d = \frac{\pi}{30} \times J \times \frac{N}{C_{amoy}} \quad (\text{III.4.9})$$

III.5 Réglage continu de la vitesse

Le réglage continu de la vitesse (N et N_s étant exprimées en tr/min) :

$$N = N_s \times (1 - g) = 60 \times \frac{f}{p} \times (1 - g)$$

On peut agir sur la fréquence, le glissement.

III.5.1 Réglage par variation de la fréquence

La solution la plus simple pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone est celle qui consiste à faire varier la fréquence de sa source d'alimentation. La mise en œuvre de ce principe pour des applications industrielles utilise un convertisseur triphasé-triphasé qui transforme le système industriel triphasé de tensions de fréquence et d'amplitude fixes.

Les principaux types de convertisseurs employés pour les moteurs asynchrones sont des convertisseurs indirects de fréquence, (tension ou courant continu) par l'association d'un convertisseur alternatif-continu (redresseur) et d'un convertisseur continu-alternatif (onduleur). [11]

III.5.2 Cascade hyposynchrone

Avec un moteur à rotor bobiné, on a la possibilité de faire varier le glissement en modifiant la résistance rotorique.

On redresse le courant rotorique par un redresseur et, après filtrage, on le renvoie dans le réseau au moyen d'un onduleur et d'un transformateur, car on récupère l'essentiel des pertes rotoriques. [11]

III.6 Conclusion

Le moteur asynchrone dépend du couple et du courant de démarrage :

- Il faut que le couple moteur soit supérieur au couple résistant à tout instant et, en particulier, pendant le démarrage.
- Dans la majorité des cas on cherche à avoir un couple C_d important et un appel de courant au démarrage le moindre possible.

Type de moteur	Asynchrone triphasé à cage	Asynchrone triphasé à bagues
Coût du moteur	Faible	Elevé
Coût de la solution variation de vitesse	De plus en plus économique	Economique
Emploi	vitesse constante ou variable	vitesse constante ou variable
Agir sur les grandeurs rotoriques	On ne peut pas	On peut
Au démarrage	ne permet pas d'insérer un rhéostat, de mauvaise performance (le courant de démarrage I_1 élevé)	on a la possibilité d'insérer un rhéostat dans le rotor, Cela permet à diminuer le courant de démarrage I_1
$\frac{C_d}{C_{\max}}$	Le plus faible possible (C_d est faible)	Le plus grand possible (C_d est important)
$\frac{I_1}{I_n}$	Le plus grand possible (I_1 est élevé)	Le plus faible possible (I_1 est faible)
Le rotor	Le rotor est court-circuit	Le bobinage rotorique permet soit de le court-circuiter, soit de le relier à un circuit permettant d'agir sur les caractéristique de moteur dans certains fonctionnements

Tableau III.1 : La comparaison entre le moteur asynchrone triphasé à cage et le moteur asynchrone triphasé à bague

D'après la comparaison entre les deux moteurs, nous pouvons choisir le moteur asynchrone triphasé à bagues.

Chapitre IV

Choix des variateurs et leurs commandes

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les choix des variateurs de vitesse et leurs commandes qui conviennent au moteur asynchrone triphasé à bagues, Les progrès récemment réalisés dans les domaines de l'Electronique de Puissance et de la Commande ont permis depuis peu l'essor des variateurs de vitesse pour les moteurs à courant alternatif.

IV.2 Différents modes de réglage de la vitesse

La vitesse N du moteur asynchrone est égale à : $60 \times \frac{f}{p} \times (1 - g)$

On peut agir sur la fréquence ou le glissement.

IV.2.1 Action sur le glissement

Le glissement est donné par la formule suivant :

$$g = \frac{m_1 \times I_2^2}{C_{em} \times \Omega_s} \times (R_2 + R_{rh}) \quad [17] \quad (IV.1)$$

Avec

m_1 : Le nombre de phase du stator

R_{rh} : Le rhéostat rotorique

R_2 : La résistance rotorique

I_2 : Le courant rotorique

C_{em} : Le couple électromagnétique

Ω_s : La vitesse synchrone.

Nous avons deux méthodes :

- ✓ Rhéostat de glissement
- ✓ Cascade hyposynchrone

IV.2.1.1 Variation de la résistance rotorique par rhéostat de glissement

Le stator est directement relié au réseau, mais un rhéostat triphasé est placé sur les borne du rotor.une résistance est donc en série avec chaque phase rotorique (Figure IV.1), a partir de l'équation (IV.1) en constate que le glissement augmente proportionnellement à l'accroissement du rhéostat

Le rhéostat de glissement est une méthode simple pour obtenir une variation de vitesse, mais il s'agit uniquement d'un réglage manuel. [10]

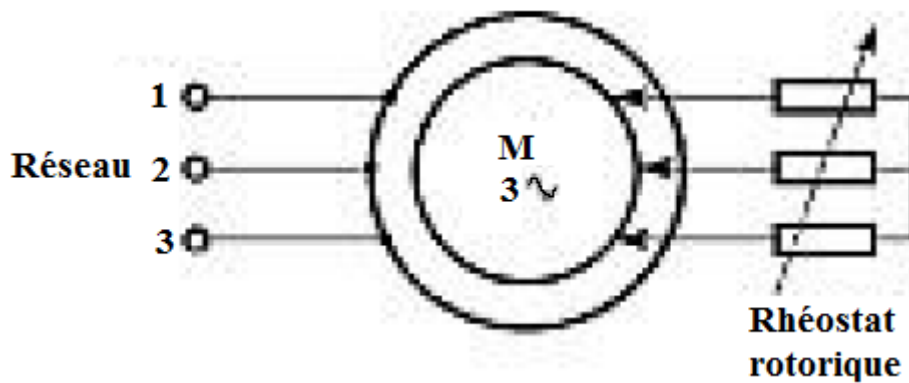


Figure IV.1 : Variation de la résistance rotorique [10]

IV.2.1.1.1 Avantages

-On peut augmenter la résistance par phase rotorique à l'aide d'un rhéostat, si le moteur est à bagues. [12]

-Les pertes dues à l'augmentation du glissement sont dissipées dans le rhéostat et non dans le moteur. [12]

IV.2.1.1.2 Inconvénients

L'augmentation des pertes par effet joule rotorique ce qui provoque la diminution du rendement. [12]

IV.2.1.2 Cascade hyposynchrone

La cascade hyposynchrone permet de faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone en augmentant le glissement, mais en récupérant des pertes par effet joule rotorique. Il faut faire appel à un convertisseur électronique de fréquence et de tension. La puissance est prélevée au rotor par un redresseur et renvoyée au réseau par un onduleur suivi d'un transformateur. (figure IV.2)

La cascade hyposynchrone donne une variation continue de la vitesse dans une plage assez large avec un rendement satisfaisant. Elle est utilisée pour les moteurs de forte puissance, en général dans la gamme des mégawatts. [10]

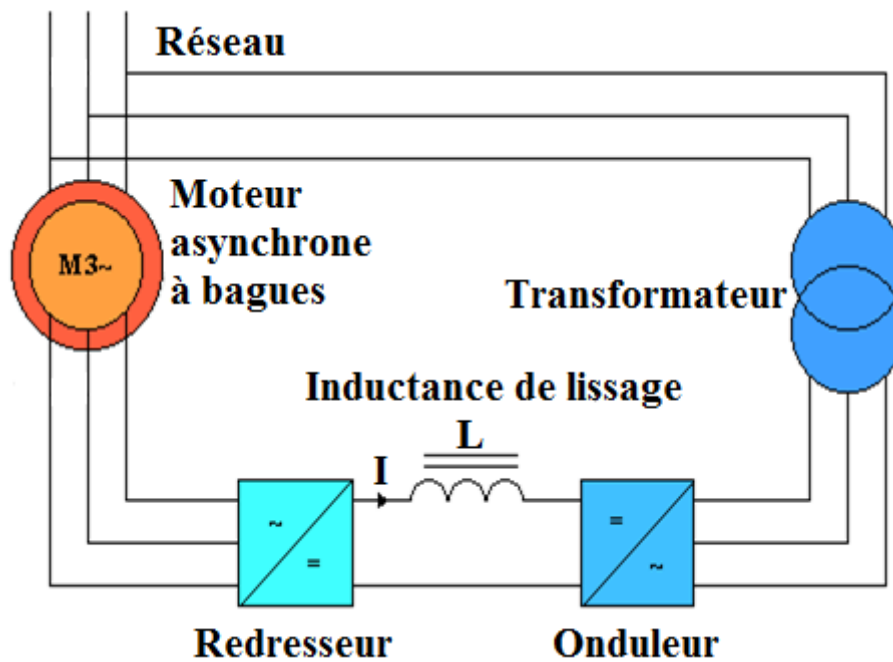


Figure IV.2 : Schéma de cascade hyposynchrone

IV.2.1.2.1 Avantages

La récupération des pertes par effet joule rotorique. [10]

IV.2.1.2.2 Inconvénients

L'inconvénient de cette méthode est le fait d'employer un moteur à rotor bobiné, qui exige une maintenance plus coûteuse à cause de ses contacts tournants. [10]

IV.2.2 Action sur la fréquence

Pour obtenir à partir du réseau à tension et fréquence constantes, la tension de valeur et de fréquence variables appliquée au moteur, on peut utiliser :

- La technique des cycloconvertisseurs ;
- par un variateur doté d'un onduleur. [12]

IV.2.2.1 Cycloconvertisseurs

On peut convertir directement la fréquence du réseau en une fréquence variable plus faible à l'aide d'un cycloconvertisseur.

Dans ces derniers, cette variation de fréquence est obtenue par un montage de plusieurs composants (thyristors).

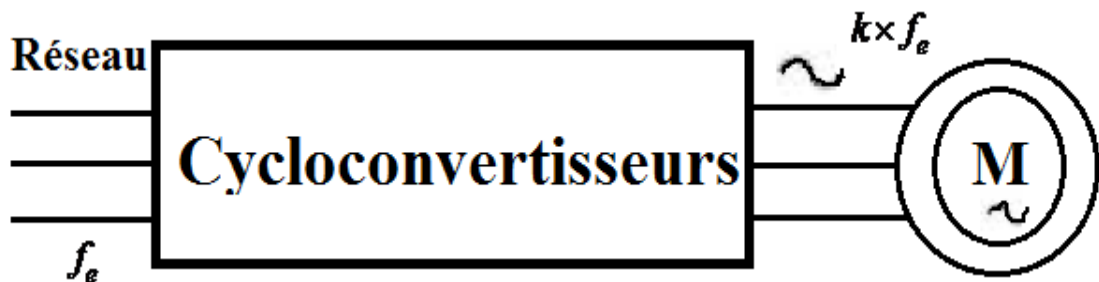


Figure IV.3 : Schéma de principe de Cycloconvertisseurs

f_e : Fréquence d'entrée.

IV.2.2.1.1 Avantages

- Le rendement est élevé ;
- Le couple est important à basse vitesse;
- En pratique, les cycloconvertisseurs sont employés pour entraîner des moteurs lents ou très lents de forte puissance, avec des puissances qui peuvent atteindre 10 MW. [12]

IV.2.2.1.2 Inconvénient

- La fréquence est limitée à $\frac{f}{2}$, ce qui limite la vitesse de rotation. [12]

IV.2.2.2 Variateur doté d'un onduleur

Le variateur fournit au moteur asynchrone une onde de tension à amplitude et fréquence variables. [13]

IV.2.2.2.1 Montage

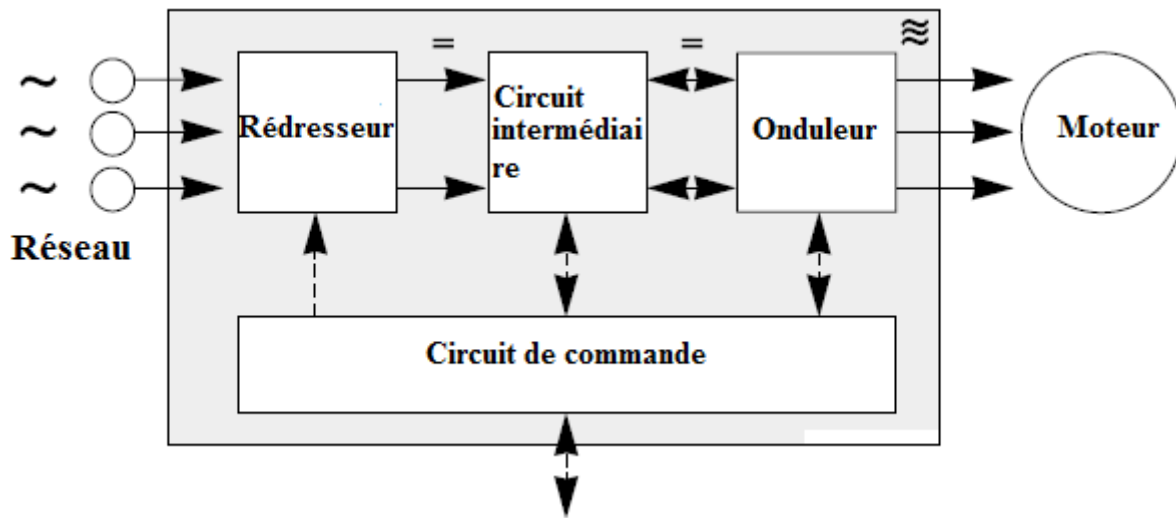


Figure IV.4 : Schéma de principe du convertisseur de fréquence [13]

IV.2.2.2.2 Principe

Le principe général du variateur de vitesse est de transformer la tension d'alimentation sinusoïdale triphasée du réseau en une tension continue, de façon à disposer d'une «matière première» permettant de générer une nouvelle tension sinusoïdale triphasée de la fréquence désirée. [13]

Le schéma de la figure IV.4 présente les quatre grandes parties d'un variateur de vitesse avec l'onduleur. Nous allons brièvement décrire chacune d'elles. [13]

- a. Redresseur :** La fonction du redresseur est de transformer la tension alternative triphasée du réseau en tension continue. [13]
- b. Circuit intermédiaire :** le circuit intermédiaire joue le rôle de lissage de la tension ou le courant entre la sortie du redresseur et l'entrée de l'onduleur (permettant l'obtention d'un signal pratiquement continu). [13]
- c. Onduleur :** L'onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence. On distingue deux types d'onduleurs [14] :
 - ✓ Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.
 - ✓ Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continue.

La figure IV.5 représente schéma de principe de l'onduleur.

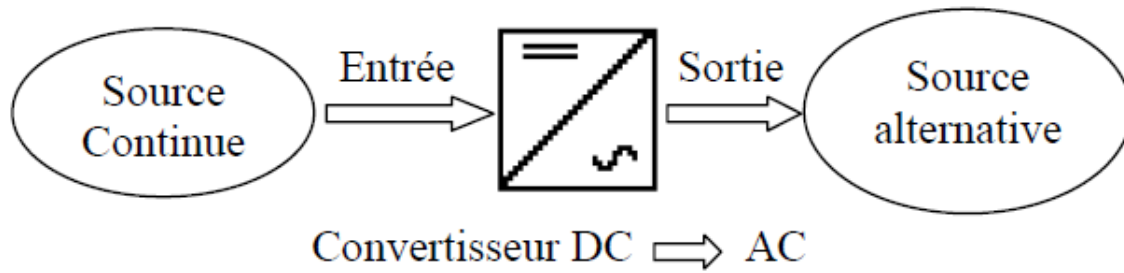


Figure IV.5 : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC)

La conversion indirecte avec passage par l'intermédiaire du continu ; on redresse les tensions du réseau, puis on ondule la tension redressée de façon à obtenir les tensions alternatives à fréquence voulue. [12]

Il permet de faire varier la fréquence, on a la caractéristique du couple en fonction de la vitesse

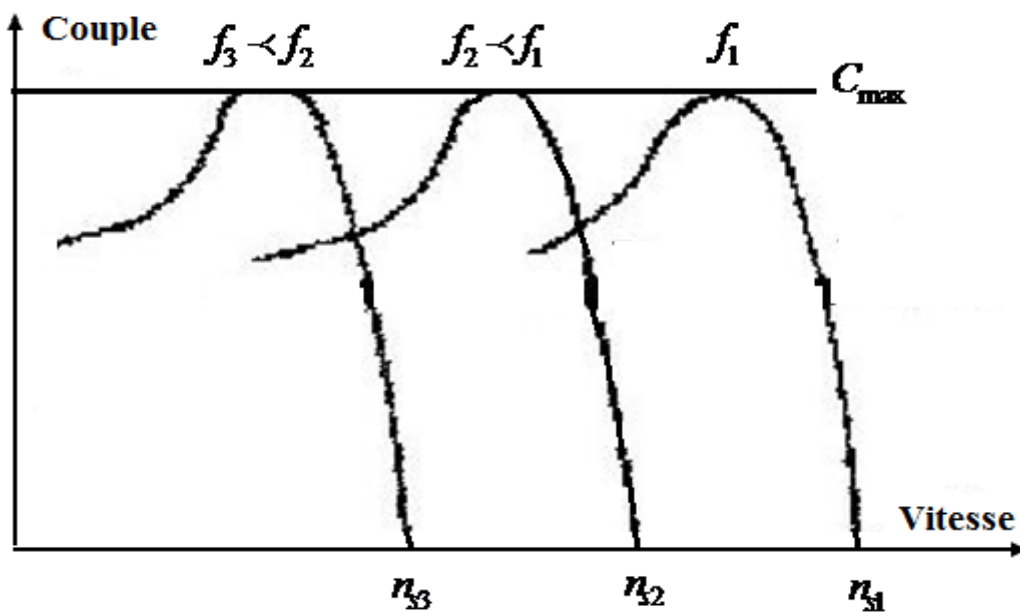


Figure IV.6 : Courbe du couple en fonction de sa vitesse

d. Circuit de commande : Le circuit de commande est la quatrième et dernière partie du variateur de vitesse. Ce circuit intègre quatre fonctions essentielles :

- commandes des semi-conducteurs du redresseur, du circuit intermédiaire et de l'onduleur ;
- échange de données entre le variateur de vitesse et les périphériques ;
- protection pour le variateur de vitesse et le moteur ;
- collecte et compte-rendu des messages de défaut. [13]

IV.2.2.2.3 Avantages

- La consommation d'électricité plus faible;
- L'excellente fiabilité ;
- Très bon rendement. [12]

IV.2.2.2.4 Inconvénients

- Le Bruit électrique dans le moteur. [12]

Après avoir étudié les différents modes de variation de la vitesse, nous avons choisi le système avec onduleur pour ses avantages en particulier excellente fiabilité.

IV.3 Commande du variateur

Il existe trois types de commande

IV.3.1 Commande à 120°

La commande de fermeture d'un interrupteur ne coïncide plus avec la commande d'ouverture de l'interrupteur placé sur le même bras, on parle dans ce cas d'un onduleur de type 120°. [14][15]

IV.3.2 Commande à 180°

Lorsque la séquence de commande de fermeture d'un interrupteur coïncide avec la commutation d'ouverture de l'interrupteur situé sur le même bras, on parle dans ce cas, d'un onduleur de type 180°. [14][15]

IV.3.3 Commande par modulation de la largeur d'impulsion(MLI)

Ce principe de modulation consiste à former chaque alternance de la tension désirée de plusieurs créneaux de largeurs convenables. Pour ce faire, les instants de commutation des interrupteurs sont déterminés par l'intersection d'une onde de référence sinusoïdale appelée "modulatrice" avec un signal triangulaire de haute fréquence appelé "porteuse". La multiplication du nombre d'impulsions formant chaque alternance d'une tension présente deux avantages importants [16]:

- ✓ Elle repousse vers les fréquences plus élevées les harmoniques de la tension désirée, ce qui facilite le filtrage.
- ✓ Elle permet de faire varier la valeur du fondamental de la tension.

IV.4 Conclusion

Le principe de base des variateurs de vitesse est relativement simple. Cependant derrière ce principe simple se cache une technologie poussée faisant intervenir des composants électroniques de puissance ainsi que des circuits de commande de plus en plus complexes. C'est pourquoi la configuration d'une installation équipée d'un variateur de vitesse n'est pas une opération simple. Il est important de bien s'informer et d'étudier soigneusement l'installation.

Le choix du variateur, lui-même, demande une grande attention. Il dépendra notamment de l'application à commander. Il faudra définir les fonctionnalités de commande souhaitées et être attentif à limiter les effets néfastes des variateurs sur le réseau électrique : qualité des filtres, position du variateur, qualité du câblage, ...

Conclusion générale

Conclusion générale

Les variateurs de vitesse s'adaptent sur toutes les applications utilisant des moteurs asynchrones. Leur utilisation se justifie essentiellement lorsque l'application présente un profil de charge variable comme dans le cas des grues.

L'objectif de ce projet était de faire une vérification de fonctionnement des différentes motorisations de la grue dans le but de dimensionner les variateurs de vitesse et leurs commandes.

Durant cette étude nous avons adopté les conditions les plus défavorables au fonctionnement du système (grue) en tenant des cas extrêmes tels que :

- Le dimensionnement se fait pour des vitesses maximales en service donc pour la plus grande puissance.
- La possibilité que la grue fonctionne à charge maximale tout le temps.

Les valeurs trouvées sont analogues avec celles déjà données dans les caractéristiques de la grue.

Nous pensons avoir atteint notre objectif de comprendre en générale le fonctionnement de la grue portuaire flottante DK 150 HD, cela va nous permis de proposer quelques améliorations, surtout intégrer des variateurs de vitesse dans les moteurs afin d'avoir des démarrages et des réglages désirés qui seront plus simple et plus sûrs dans le travail.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- [1] wikipedia ; online : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Grue-B%20\(engin\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Grue-B%20(engin)), consulter le 2 février 2014.
- [2] Edition INRS ED 183 : Institut national de recherche et de sécurité, Paris, avril 2005.
- Online: [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobjet-accesparreference/ed%20813/\\$file/ed813.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobjet-accesparreference/ed%20813/$file/ed813.pdf).
- [3] Normes françaises et européennes : <http://www.norme-standard.com/125187/nf-en-13852-2-fevrier-2005/>
- [4] Techniques de l'ingénieur, C 120-2-1992 : Matériel et outillage de chantier, Grues de chantiers.
Auteurs : Jean-Pierre AUGOYARD, Alain LECOQ.
- [5] MAN GHH KRANATECHNIK Allemagne 03/10/1989
- [6] 1989 Fascicule d'exploitation.
- [7] Moteurs électriques (les images sur les moteurs électriques), le 2 février 2014.
- [8] Cours sur méthode de sélection d'une machine asynchrone, 2011/2012
- [9] Réalisation : SEDOC
Edition : Schneider Electric
Cahier Technique n° 207
Année juin 2004.
- [10] Aide-mémoire
Electrotechnique
Illustration : Alain et Ursula BOUTEVEILLE
DUNOD, Paris, 2006.
- [11] Maxime DESSOUDE, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, 2000.
- [12] SEGUIER GUY. , Electrotechnique industrielle, 3^e édition, Paris, Technique et Documentation, 2006.
- [13] Variation de vitesse, Réinventons l'énergie, Mars 2003.
- [14] S. Guy, B. Robert, Labrique Francis, Les convertisseurs de l'électronique de puissance (volume 4). Edition tec&doc, 1995.
- [15] T. Wildi : *Electrotechnique*, 3eme édition, éditions de Boeck université (1999).
- [16] *Onduleur de tension: mise en oeuvre et Structures-principes-applications*. Techniques d'ingénieur, Traité de génie électrique D.3176-3177.
- [17] M.Kostenko et L.Piotrovski : Machines électriques, 3eme édition, éditions Mir-Moscou(1979).